

**Девятнадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА
(Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей
среды, потенциально опасных явлений и объектов)»
15 - 19 ноября 2021 г.**

**Спутниковый мониторинг образования
дополнительных емкостей воды в бассейнах рек Ертис и
Или на территории Китайской Народной Республики**

Витковская И.С., Батырбаева М.Ж., Алибаев К.А.

*АО «Национальный центр космических исследований и технологий»,
РК, Алматы, 050050, Казахстан*

Москва, 2021

Оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы

Ресурсы поверхностных вод Казахстана оцениваются для среднего по водности года в 100,9 млрд. кубометров, из которых 56,5 млрд.м³ формируются на территории страны, остальные 44,4 млрд. м³ поступают из сопредельных стран: КНР, Республики Узбекистан, Кыргызстана и Российской Федерации. Как правило, у граничащих государств возникают проблемы, связанные с защитой своей части бассейна, например, из-за чрезмерного потребления воды другой страной или из-за ухудшения экологии по вине соседнего государства. Эта проблема является весьма актуальной и для Казахстана. Как известно, большинство крупных рек, протекающих по территории республики, берут начало в сопредельных странах.

В настоящее время основной проблемой двусторонних казахстанско-китайских отношений в плане совместного использования водных ресурсов является совместное управление водными ресурсами рек Или и Иртыш и наблюдающемся увеличением водозабора из трансграничных рек Или и Ертыс на территории КНР.

Согласно публикациям в средствах массовой информации, развитие Китая в ближайшие десятилетия связано с планами превращения Синцзяна в региональный торговый центр в Центральной Азии с дальнейшим распространением экономического влияния на регион. КНР нацелен на масштабное использование стока рек **Черный Ертыс и Или**. Китай, находящийся в верховьях стока рек Или и Ертыс, фактически оказывается в роли распорядителя дефицитной воды.

Согласно экспертным оценкам, за последние 30 лет сток реки Ертыс уменьшился в 3 раза. Согласно опубликованным данным, следует ожидать уменьшения водных ресурсов в бассейне **реки Ертыс**: к 2030 году на 8 куб.км, к 2040 году - на 10 куб.км, к 2050 году - на 11,4 куб.км.

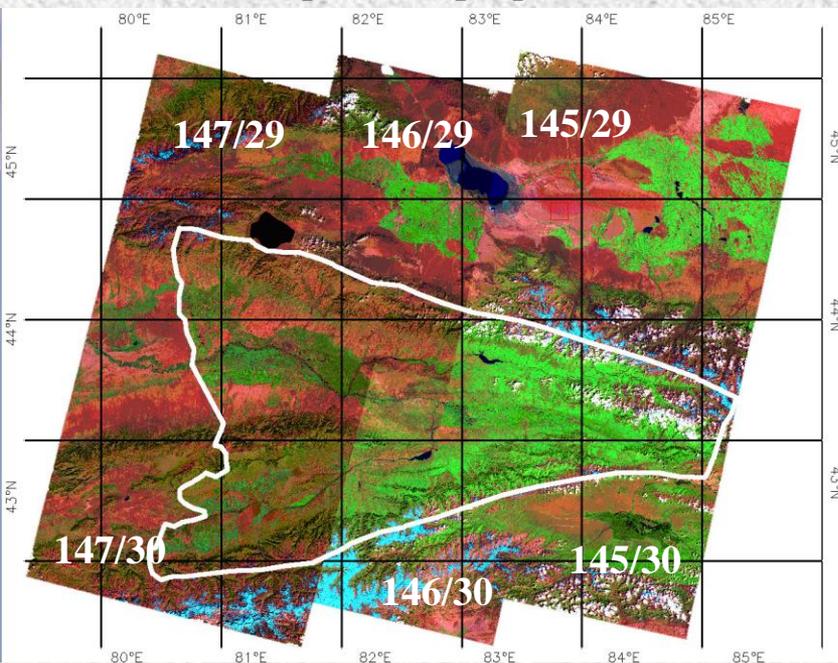
Данная ситуация приведет к практической деградации каналов, водохранилищ (**Бухтарминское и Шульбинское**) на территории Казахстана, питающихся из р. Ертыс. Произойдет ухудшение качества поверхностных вод и загрязнение подземных вод. Реализация планов КНР по увеличению забора вод Ертыса может способствовать высыханию в первую очередь **озера Зайсан**, питающегося водами этой реки.

Отвод воды из другой трансграничной **реки - Или**. В настоящее время Китай интенсивно начинает осваивать 13 водохранилищ и 59 гидроэнергетических станций на плотинах, действующих в русле реки Или. Все это будет направлено на увеличение посевных площадей до 600 тыс. га, и на строящиеся промышленные объекты. Также планируется и увеличение забора воды в верхнем течении реки Или для нужд сельского хозяйства Китая.

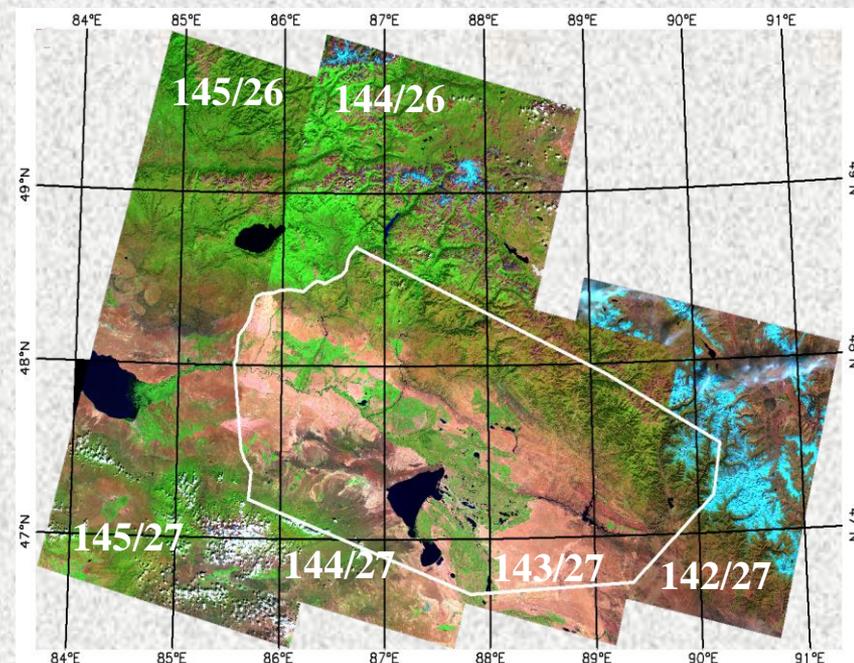
Увеличивающийся забор вод р. Или с китайской стороны приведет в первую очередь к обмелению **озера Балхаш**. Река Или является основным поставщиком воды в озеро Балхаш. Она дает 70-80% всего притока воды в это озеро. Кроме того, ускоренное промышленное развитие северо-западного Китая, может существенно увеличить загрязнение озера Балхаш в Казахстане химикатами и удобрениями.

Спутниковая информация

- 1) При решении задач детектирования и многолетнего оценочного мониторинга водных объектов и орошаемых массивов на сопредельных территориях использованы данные среднего разрешения спутника **LANDSAT**, опубликованных **в свободном доступе**.
- 2) Для определения технических особенностей ГТС на водохранилищах необходимы спутниковые данные более высокого разрешения. Снимки **KazEOSat-2** использовались для оценки общих параметров ГТС.
- 3) Оптимальный сезон съемки для создания мозаичного покрытия – **май-сентябрь**.
- 4) Проведена оцифровка водных объектов на территории мониторинга за период **2000-2018** гг. по данным среднего разрешения **LANDSAT**.



Мозаика снимков LANDSAT (2016 г.), покрывающих бассейн реки Или, КНР



Мозаика сцен LANDSAT (2016 г.) на территорию СУАР КНР (долина реки Ертис)

Детектирование водоемов на территории КНР

Детектированы водоемы 2-х типов – 1) водохранилища и 2) водоемы хозяйственного использования (хвостохранилища, рыбопитомники, отстойники воды с орошаемых полей). При детектировании новым водным объектам присвоены условные порядковые номера.

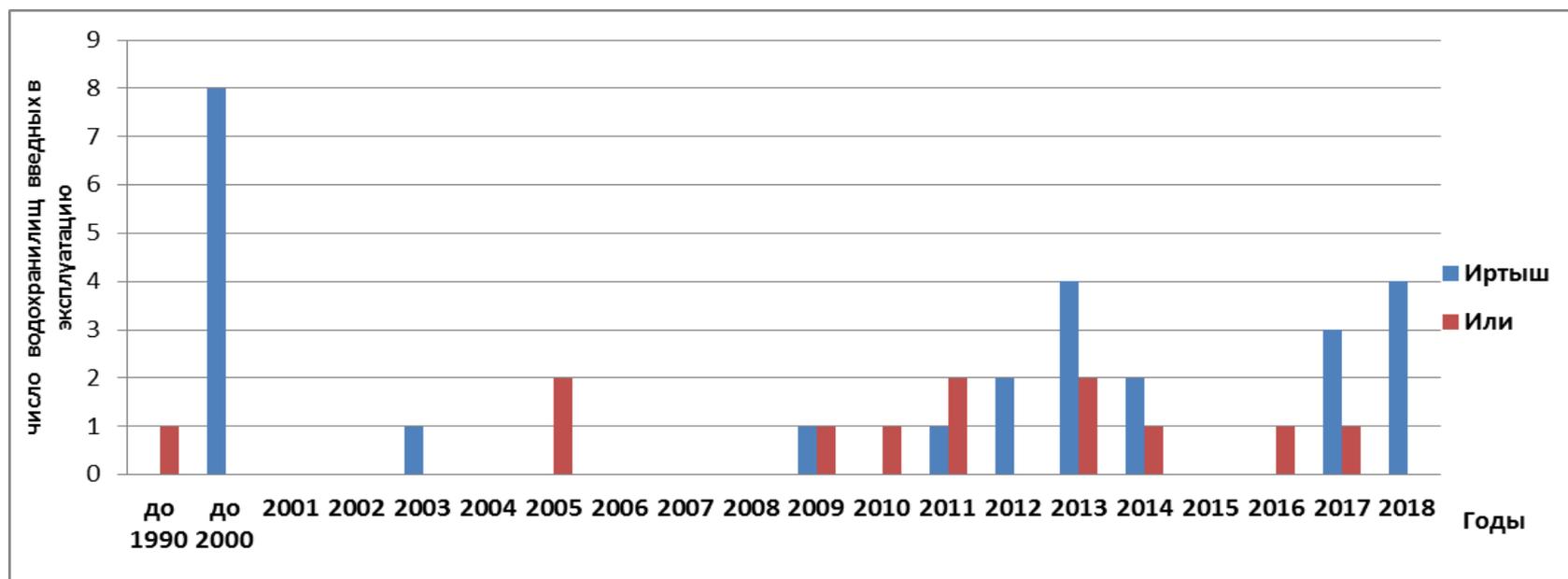
В бассейне **реки Или** на территории КНР отмечается большее количество крупных водохранилищ с площадью водного зеркала более 1 кв.км, менее 1 км² – значительно меньше. Это связано с тем, что притоки р. Или на данной территории являются многоводными и позволяют строить крупные водохранилища.

В бассейне **реки Черный Ертис** отмечается большее количество водохранилищ малой емкости с площадью водного зеркала менее 1 км², крупных – существенно меньше. Притоки р. Черный Ертис на территории СУАР относятся к малым и средним, что обуславливает строительство водохранилищ малой емкости. При этом такие водохранилища часто объединяются в каскады, что значительно повышает их экономическую эффективность и сокращает срок окупаемости.

Анализ многолетних данных космического мониторинга показывает: на реке Или и ее притоках интенсивное строительство и эксплуатация водохранилищ началось с 2005 года; на реке Черный Ертис – с 2010 года. Следует отметить высокие темпы строительства водохранилищ на этих реках: в 2005-2018 годах практически ежегодно вводились в эксплуатацию 2-3 водохранилища.

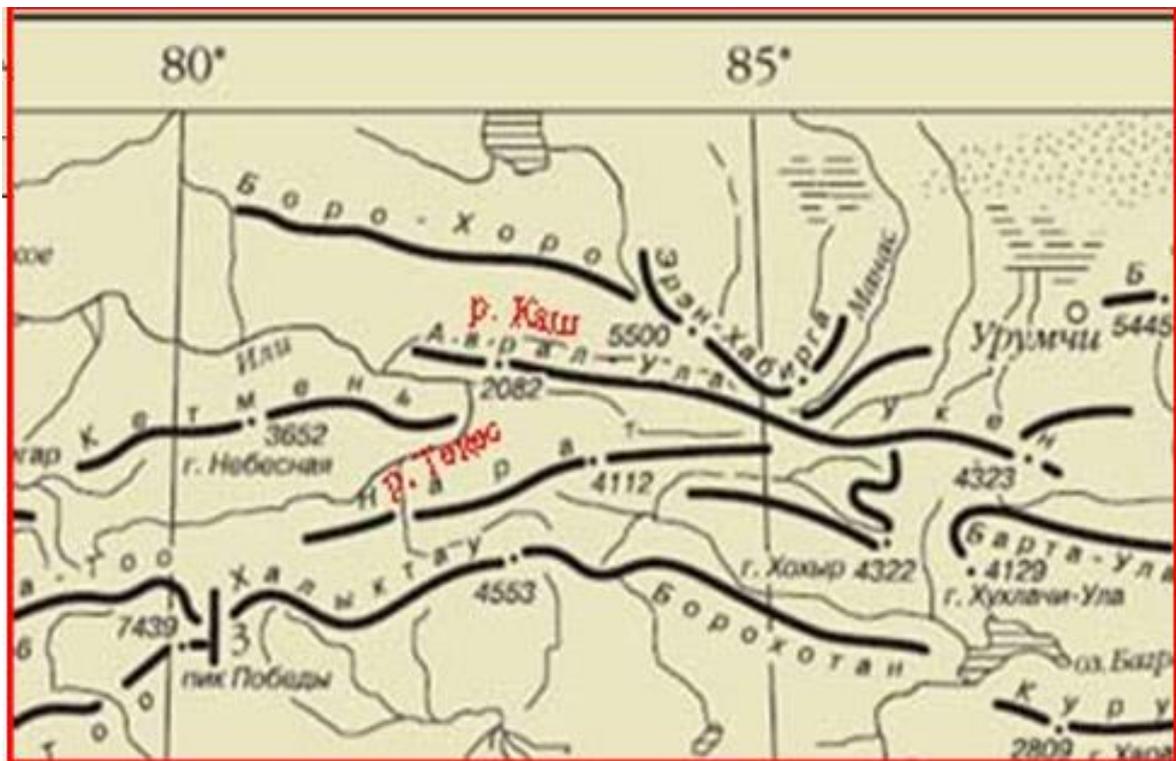
В 2018 году на реке Черный Ертис детектированы 3 новых водных объекта с площадью зеркала менее 1 км², на реке Или новые объекты не выявлены.

Следует отметить скудность информации о водных объектах, возникших на территории СУАР КНР в последние десятилетия. В связи с этим, при проведении исследований и построении системы мониторинга водных объектов дистанционные материалы зачастую являются единственным источником сведений о той части водосбора, которая находится на территории соседнего государства.



Многолетняя динамика возникновения водохранилищ в бассейнах рек Или и Черный Ертис

Тянь-Шань. Фрагмент орографической схемы.



М 1:12 500 000

Общая площадь бассейна р.Или около 140 тыс.км², из них 45% приходится на китайскую часть и 55% на казахстанскую. Общая длина реки от истока р.Текес -1439 км, а на территории Казахстана - 815 км. Основная стокообразующая часть бассейна расположена в КНР.

Гидрологическая характеристика реки Или на территории КНР

Река Или берет начало в Центральном Тянь-Шане на территории КНР после слияния трех притоков –Каш, Кунес и Текес. Многоводная в верхнем течении река при пересечении Текесской впадины теряет значительную часть своего стока на орошение.

После впадения притоков Кокпак, Баянкол, Нарынкол водоносность реки существенно увеличивается. Затем она течет по территории Восточного Туркестана (КНР), сливаясь с реками Кунес и Каш, и на 250 км от их слияния входит в пределы Казахстана.

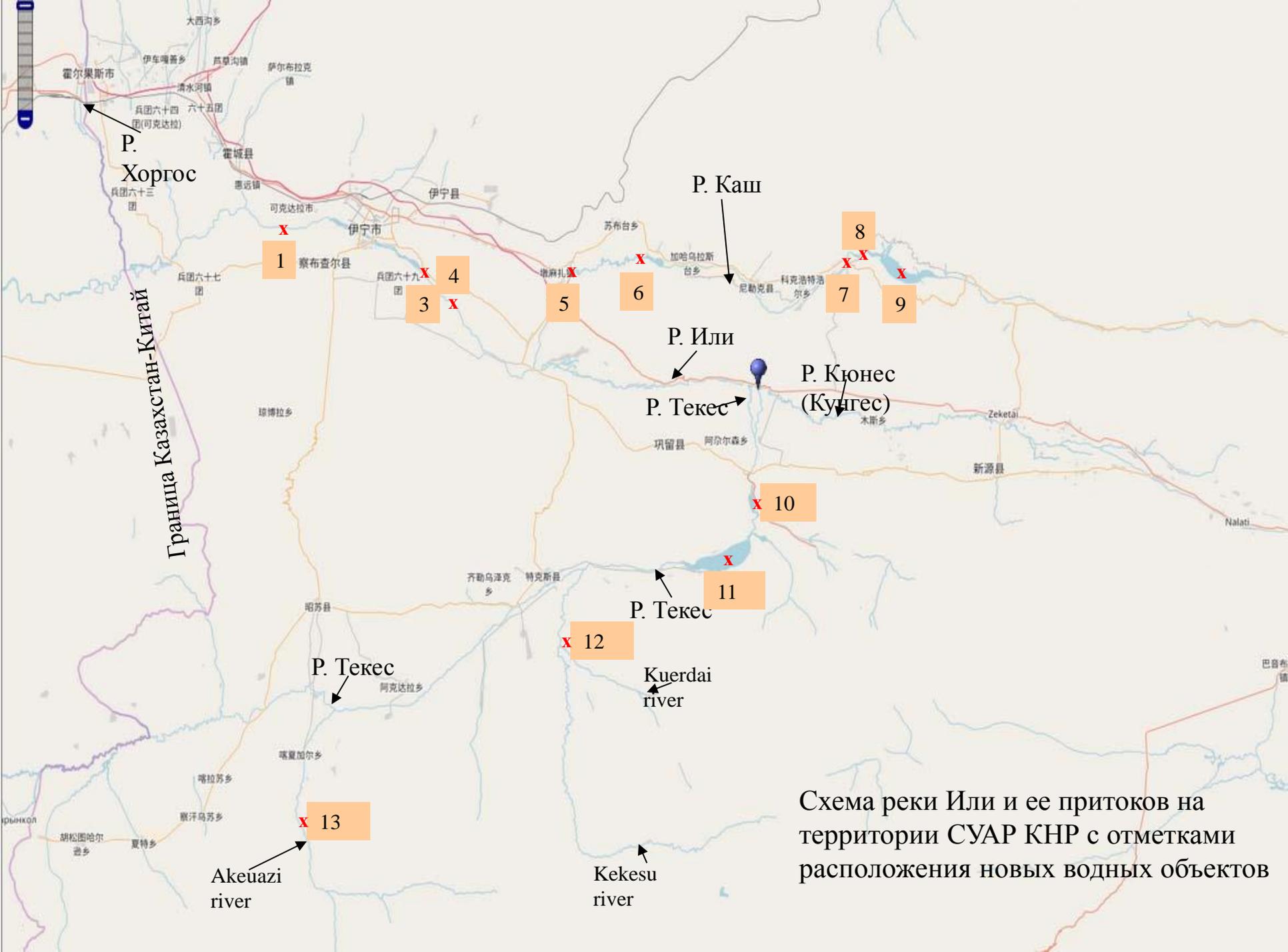
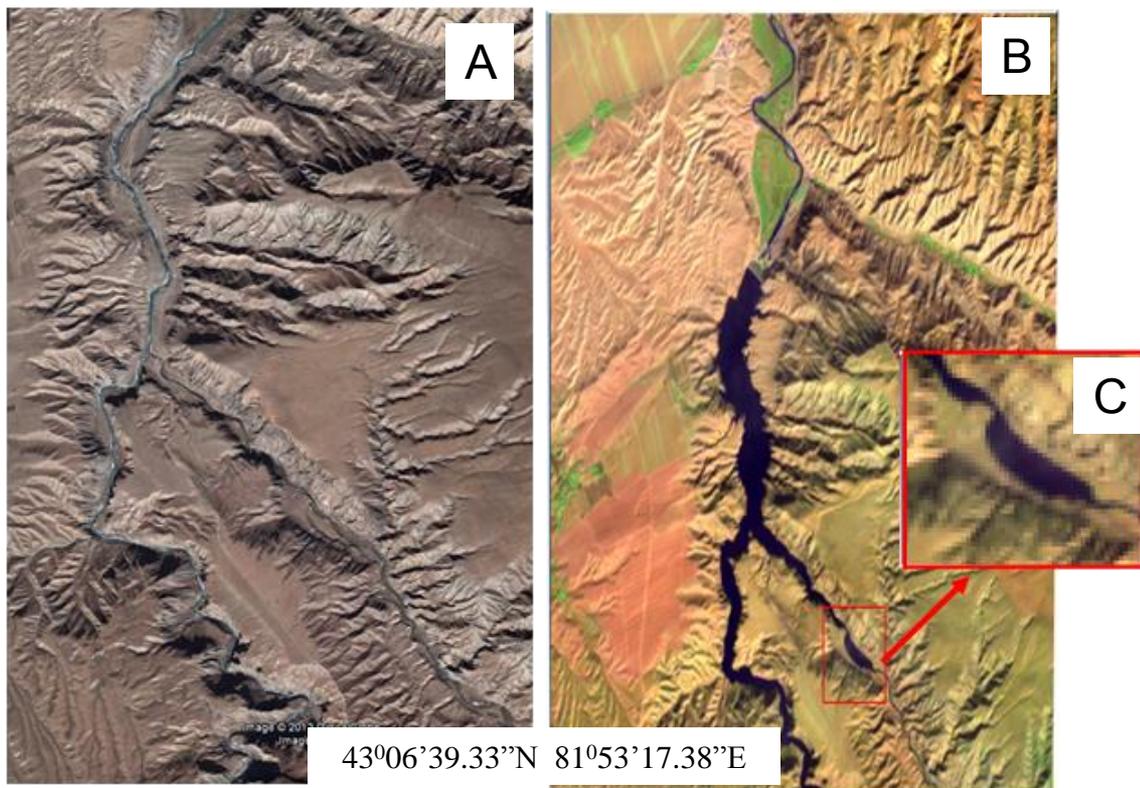


Схема реки Или и ее притоков на территории СУАР КНР с отметками расположения новых водных объектов

Примеры результатов детектирования новых водных объектов на р. Или (КНР)

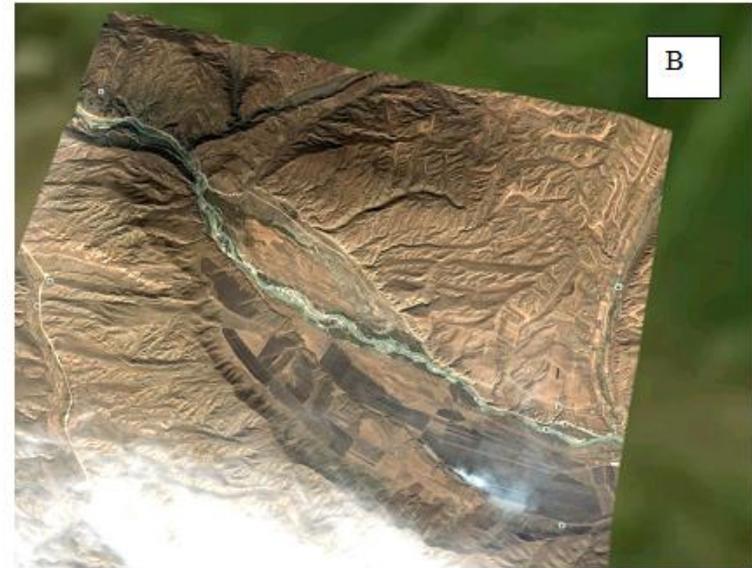
Водоохранилище руслового типа, не каскадное, многолетнего регулирования. Основное назначение – накопление воды для орошения нижележащих орошаемых массивов общей площадью более 10 тыс. га., а также выработка электроэнергии. Условия местности позволяют накапливать достаточно большой объем воды - порядка 0,6 км³. В состав водохранилища входят: - плотина, длиной по гребню – 500 м, - гидроэлектростанция с 4 турбинами. Поступление воды к гидроэлектростанции осуществляется по туннельному сбросу, расположенному с правого берега водохранилища. Данное водохранилище является одним из стратегических и имеет большую емкость, которая интенсивно заполняется в последние 5 лет.

Водоохранилище N12 на Kuerdai river, притоке реки Текес (КНР)



А – 23 октября 2006 года; (Google Earth, Digital Globe);
В – 20 октября 2013 года (фрагмент сцены LANDSAT);
С – увеличенное изображение нового водного объекта

Водохранилище 9 на реке Каш, правый приток Или (КНР), источник Google Earth



А – максимальное наполнение водохранилища (16.05.2013);
В – поля, в последствии залитые водой (4.10.2004);
С – плотина на реке Каш, приведшая к образованию водохранилища

Одно из самых крупных вновь образованных водохранилищ, расположено в горной местности, создано в результате строительства крупной плотины. В результате затоплены многочисленные поля, ранее располагавшиеся на этом участке в долине реки. Водохранилище естественным образом ограничено горными склонами, вода поднимается вверх по горным ущельям по мере его наполнения. Водохранилище многолетнего регулирования, основное назначение - выработка электроэнергии. Впервые зафиксировано на снимке LANDSAT 19 октября 2004 года.

Водоем 6 (каскад), р. Каш, правый приток Или

строительство плотины (май
2013 г)

43°50'11.78"N 82°00'59.73"E (left)

43°50'08.32"N 82°12'37.94"E (right)



строительство плотины
(май 2010г.)

Максимальное заполнение
каскада (июль 2015 г)

Водохранилище руслового типа, каскадное с нижележащим водохранилищем; многолетнего регулирования. Основное назначение – накопление воды для подачи непосредственно на орошение массивов, а также для выработки электроэнергии.

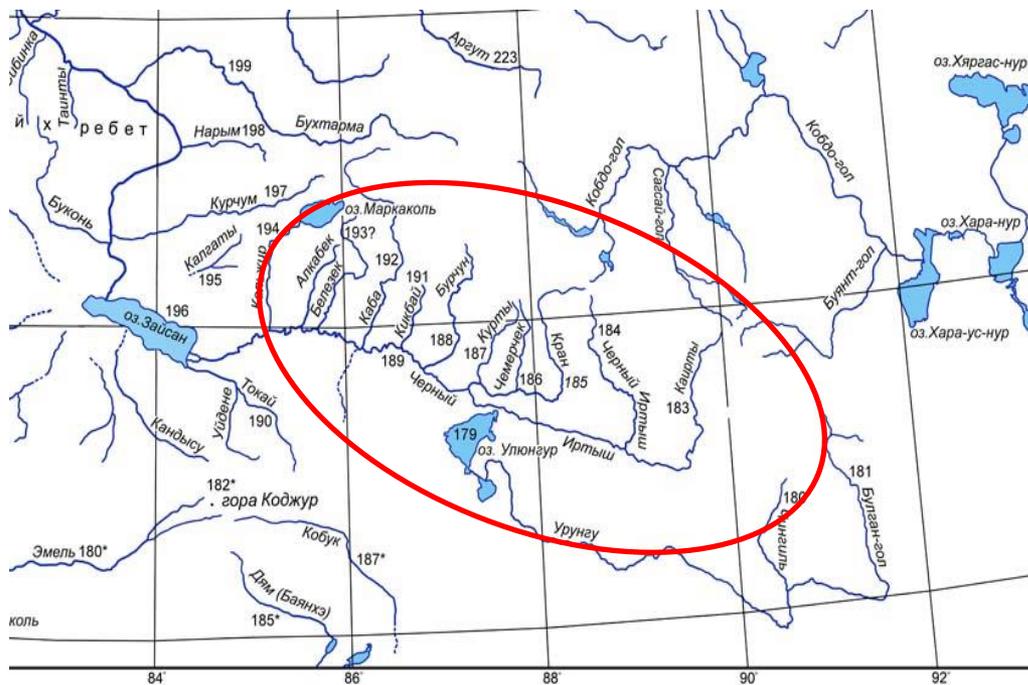


43°18'12.15"N
82°29'04.31"E
h = 935 м над у.м.

Водоем 11 (Капчагай), р. Текес, левый приток Или

Крупное водохранилище руслового типа, образует каскад водохранилищ; многолетнего регулирования. Основное назначение – накопление воды для орошения нижележащих орошаемых массивов общей площадью более 20 тыс. га., а также выработка электроэнергии.

Условия местности позволяют накапливать достаточно большой объем воды - 3,0-3,5 км³. В состав водохранилища входят: плотина, длиной по гребню – 350 м, высота плотины 100 м; гидроэлектростанция с 4-6 турбинами. Данное водохранилище является одним из стратегических и имеет большую емкость, которое заполняется уже в течении 5-10 лет.

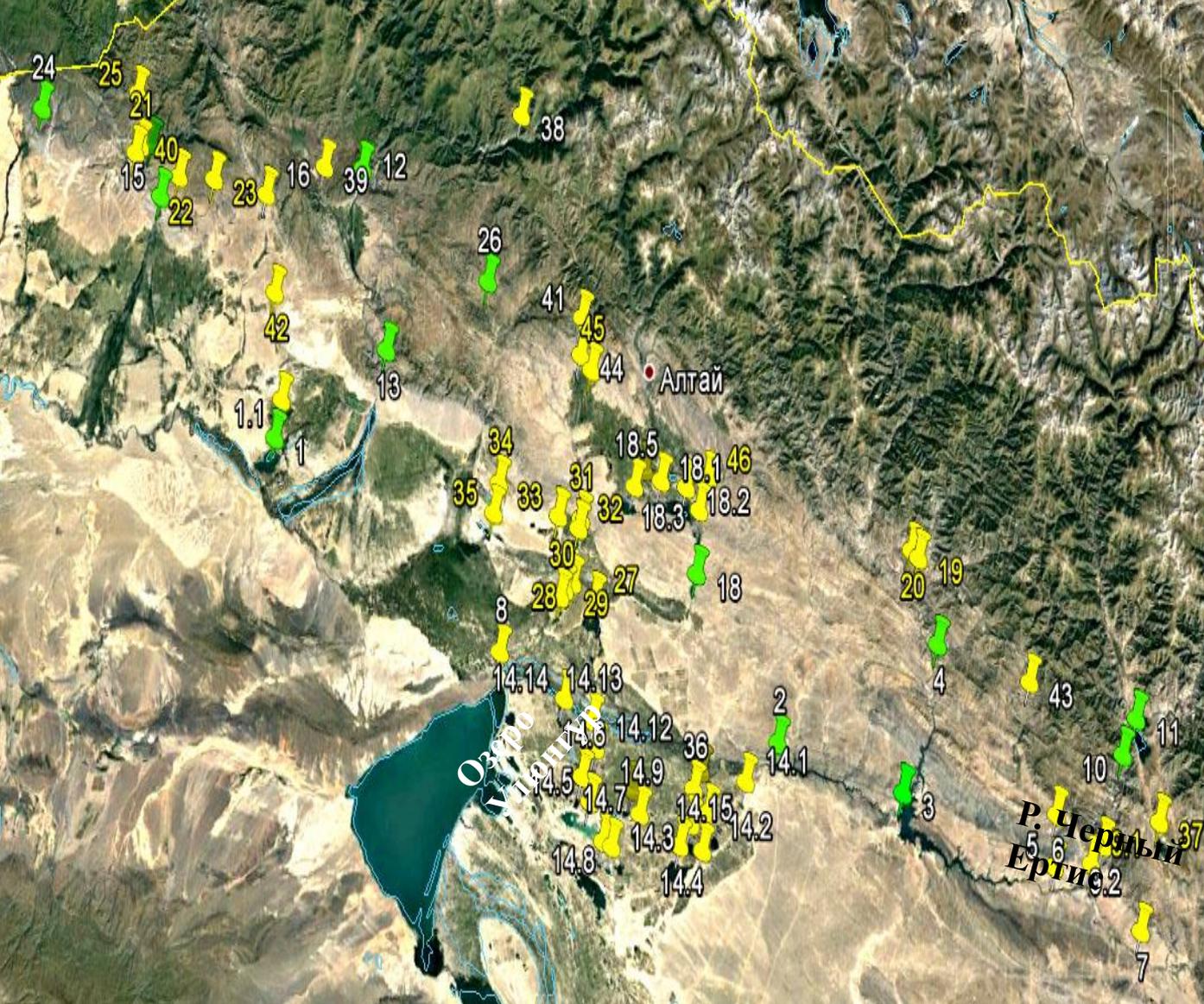


Фрагмент карты Верхнего Приобья и Прииртышья

На территории КНР притоки реки Черный Ертис являются практически все правыми, стекающими с хребтов горного массива Монгольский Алтай. Это обуславливает строительство на большинстве притоков водохранилищ малой мощности. Рельеф бассейнов этих рек позволяет строить водохранилища энергетического и ирригационного назначения. Водоохранилища, расположенные в горных территориях, естественным образом ограничены горными склонами, вода поднимается вверх по горным ущельям по мере их наполнения.

Чёрный Ертис – название верхнего течения реки Ертис на территории КНР от истока до впадения в озеро Зайсан. Верхняя часть бассейна Ертиса расположена на территории КНР, где формируется в среднем около 9.0 км³/год стока реки.

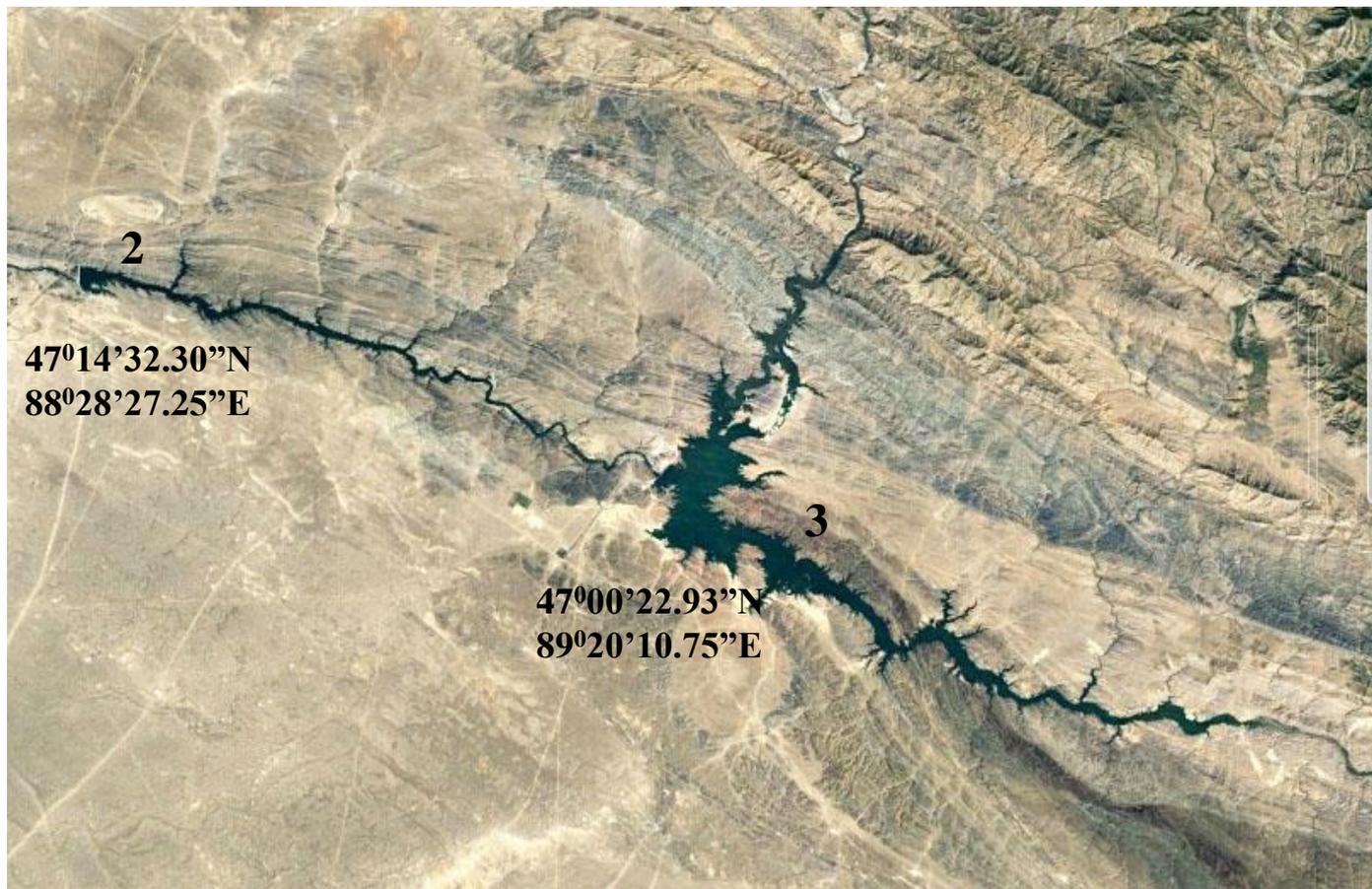
Питание Ертиса смешанное: в верховьях снеговое, ледниковое и в меньшей степени дождевое; в нижнем течении снеговое, дождевое и грунтовое. В верхнем течении половодье начинается в апреле, максимум в апреле - июне, спад длится до октября; сток реки зарегулирован. Общая площадь водосбора составляет 1 643 000 км². Уклон порядка 0,03 м на километр. Ертис начинает свое течение на высоте 2500 метров над уровнем моря с покрытых снегами и ледниками склонов горной системы Монгольский Алтай в Джунгарии (географическая область в северном Синьцзяне на северо-западе Китая). Исток: слияние рек Джалгызгагат-Хэ и Ул-Тургэн-Хэ (восточные склоны хребта Монгольский Алтай) на границе Монголии и Китая.



На реке Черный Ертыс выявлено **65 водных объектов**, из них 14 водохранилищ с площадью зеркала более 1 кв.км, 13 – менее 1 кв.км; 27 водоемов с площадью зеркала более 1 кв.км, 11 – менее 1 кв.км. Все детектированные водохранилища относятся к русловым, построены в руслах рек и горных ущельях: нижняя граница определена створом плотины, верхняя – свободная. Водоохранилища образуются в руслах рек и их пойм, размеры водохранилищ со временем меняются. Скальные склоны ущелий являются естественными бортами и берегами водохранилищ.

Бассейн реки Черный Ертыс и ее притоков на территории СУАР КНР с метками детектированных водоемов (источник информации Viewer Google Earth)

Примеры результатов детектирования новых водных объектов на р. Ертыс (КНР)



Русловое водохранилище 2 (Hinge Reservoir) 635 Dam на реке Ертыс, многолетнего регулирования, высота над у.м. $h = 645$. Основное назначение – ирригационное и гидроэнергетическое. Оказывает существенное влияние на водность реки Ертыс. Водоохранилище входит в каскад трех водохранилищ. Поэтапное наполнение водохранилища приводит к увеличению площади зеркала и заполнению русел горных ущелий справа и слева от основного русла. Образуется каменно набросной плотиной длиной 1,9 км, высота плотины – 30-35 м. Обеспечивает водовыпуск в магистральный канал Ертыс-Каратай. 1998г. – начало строительства; 2001г – ввод в эксплуатацию

Водоохранилище 3 руслового типа, многолетнего регулирования. (2009г.) Основное назначение гидро-энергетическое. Входит в каскад водохранилищ. Расположено на месте впадения правого притока Черный Ертыс. Плановое заполнение водохранилища образует сложную конфигурацию зеркала водохранилища, в двух направлениях: на север по реке Кран (правый приток р. Черный Ертыс) и на восток по руслу реки Ч. Ертыс. Водоохранилище образуется железобетонной плотиной: Длина плотины – 1,5 км. Высота плотины – 90-100 м. В состав плотины входит ГЭС – с 6 гидроагрегатами. Водоохранилище набирает проектную мощность.



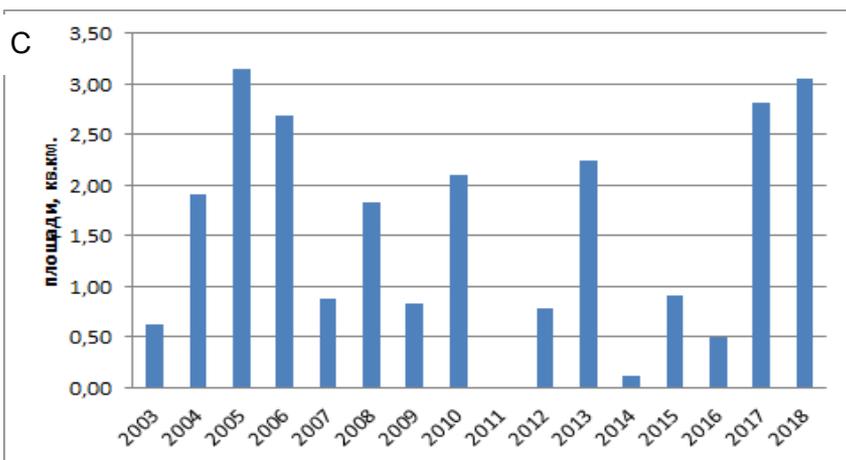
Каскад водохранилищ сезонного регулирования руслового типа, построены на реке. Основное назначение – гидроэнергетическое и ирригационное. Образуется грунтовой и железобетонной плотиной.

9.1 - $46^{\circ}59'04.61''\text{N}$ $89^{\circ}30'33.60''\text{E}$ (плотина 1; слева), 2013 г.

9.2 - $47^{\circ}00'23.66''\text{N}$ $89^{\circ}33'20.15''\text{E}$ (плотина 2; справа) образовано до 1984 г.



Водохранилище 26 – водохранилище сезонного регулирования, высокогорное. Образовано в 2003г. с помощью железобетонной арочной плотины на месте слияния двух высокогорных рек в реку Курты (правый приток р. Черный Ертис). Заполнение водохранилища происходит по обеим рекам



47°59'8.10"С 87°34'31.40"В

h = 1181 над у.м.

А – расположение водохранилища 26; В – плотина; С - изменение площади водного зеркала водохранилища 26 на реке Черный Ертис

| р. Черный Ертис | | | | | |
|---|------------------|-----------------|--------------|------------------|-----------------|
| одохранилища, аккумулирующие воду, для выработки электроэнергии | | | | | |
| S > 1 кв. км | | | S < 1 кв. км | | |
| Номер | Дата образования | Площадь зеркала | Номер | Дата образования | Площадь зеркала |
| 3 | 2009 | 78,87 | 16 | 2012 | 0,89 |
| 11 | До 2000 | 19,75 | 5 | 2011 | 0,87 |
| 1 | 1991 | 14,27 | 9.2 | До 2000 | 0,48 |
| 2 | До 2000 | 13,23 | 9.1 | 2013 | 0,42 |
| 13 | 2013 | 9,55 | 7 | 2013 | 0,31 |
| 18 | 2012 | 7,70 | 41 | 2017 | 0,2 |
| 17 | 2013 | 4,50 | 39 | 2018 | 0,15 |
| 12 | 2008 | 3,78 | 23 | 2013 | 0,13 |
| 4 | 2014 | 3,31 | 6 | До 2000 | 0,09 |
| 15 | 1995 | 3,30 | 42 | 2018 | 0,09 |
| 26 | 2003 | 2,82 | 40 | 2018 | 0,08 |
| 38 | 2017 | 2,64 | 22 | До 2000 | 0,04 |
| 24 | 2017 | 2,22 | 43 | До 2000 | < 1 |
| 10 | 2014 | 0,91 | | | |

Детектированные водоемы классифицированы по назначению (аккумуляция воды, выработка электроэнергии, для с/хозяйственных нужд – выращивание рыбы, сброс с орошаемых полей) и по площади водного зеркала.

Определены даты образования водохранилищ, площади водного зеркала.

Номера водохранилищ – условные.

| р. Или | | | | | |
|--|------------------|---------|--------------|------------------|---------|
| Водохранилища, аккумулирующие воду, для выработки электроэнергии | | | | | |
| S > 1 кв. км | | | S < 1 кв. км | | |
| Номер | Дата образования | Площадь | Номер | Дата образования | Площадь |
| 11 | 2005 | 47,295 | 24 | 2014 | 0,695 |
| 9 | 2005 | 45,604 | 7 | 2013 | 0,192 |
| 6 | 2011 | 8,254 | 23 | 2016 | 0,149 |
| 10 | 2009 | 7,286 | | | |
| 12 | 2011 | 4,682 | | | |
| 13 | 2013 | 4,286 | | | |
| 22 | 2017 | 1,563 | | | |
| 5 | 2000 | 0,988 | | | |
| 8 | 2010 | 0,985 | | | |

В заключение:

Детектированы водоемы 2-х типов – 1) водохранилища и 2) водоемы хозяйственного использования. Водоемы сельхозназначения являются постоянно действующими, изменение площади зеркала является межсезонным с незначительным трендом на увеличение.

Все детектированные водохранилища относятся к русловым, построены в руслах рек и горных ущельях: нижняя граница определена створом плотины, верхняя – свободная. Скальные склоны ущелий являются естественными бортами и берегами водохранилищ.

В бассейне **реки Или** на территории КНР отмечается большее количество крупных водохранилищ с площадью водного зеркала более 1 кв.км. Это связано с тем, что притоки р. Или на данной территории являются многоводными и позволяют строить крупные водохранилища.

Притоки **р. Черный Ертис (СУАР)** относятся к малым и средним, что обуславливает строительство водохранилищ малой емкости. Водохранилища часто построены в каскаде, что значительно повышает их экономическую эффективность и сокращает срок окупаемости.

Анализ данных многолетнего космического мониторинга показывает: на реке Или и ее притоках интенсивное строительство и эксплуатация водохранилищ началось **с 2005 года**; на реке Черный Ертис – **с 2010 года**. Следует отметить высокие темпы строительства водохранилищ на этих реках: практически ежегодно вводятся в эксплуатацию 2-3 водохранилища.

На территории бассейнов двух рек наблюдается положительный тренд роста площадей новых массивов орошения; увеличение их за последние десять лет, в т.ч. на 12% в бассейне реки Или и более, чем на 20% в бассейне реки Ертис.

В связи с высокими темпами строительства и ввода в эксплуатацию новых водохранилищ в КНР, освоением новых массивов орошения, строительством новой ирригационной сети, а также ограниченностью доступной информации, рекомендуется вести ежегодный водохозяйственный мониторинг сопредельных территорий, в том числе космический, для оценки поступающих в Казахстан водных ресурсов по трансграничным рекам.