

**Перспективы использования  
дистанционных измерений  
в водном хозяйстве и орошаемом  
земледелии стран  
Центральной Азии**



НИЦ МКВК  
Ташкент 2018

**Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной  
водохозяйственной комиссии Центральной Азии  
(НИЦ МКВК)**

**Перспективы использования  
дистанционных измерений  
в водном хозяйстве и орошаемом  
земледелии стран  
Центральной Азии**

Ташкент 2018



## Содержание

Перспектива использования дистанционных измерений в водном хозяйстве и орошаемом земледелии Духовный В.А., Сорокин А.Г., Стулина Г.В. ....	5
Определение основных показателей использования водных ресурсов по областям Узбекистана Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф., Рузиев И.И. ....	10
Инструмент расчета продуктивности воды и земли на базе данных дистанционного зондирования Сорокин А.Г., Тошпулатов Р. ....	17
Корректировка границ районов стран бассейна Аральского моря в рамках проекта САWA IV фаза Зайтов Ш., Сорокин Д., Рузиев И. ....	27
Глобальные исследования водохранилищ и озер со спутников и их использование на примере бассейна реки Сырдарья Крето Ж.-Ф., Бьянкамария С. Арсен А., Берге-Нгуен М., Бекер М. ....	31
Обнаружение водного стресса для сельхозкультур из дистанционных измерений с помощью алгоритма SSEBI-2: на примере Марокко Якобс К., Роеринк Г., Хаммани А. ....	56
Новый Всемирный портал по качеству воды .....	64



## **Перспектива использования дистанционных измерений в водном хозяйстве и орошаемом земледелии**

**Духовный В.А., Сорокин А.Г., Стулина Г.В.**

Объектом изучения и постоянного мониторинга в водном хозяйстве и орошаемом земледелии являются земля, водные объекты и управляемые ими объекты, распространенные на площади того или иного бассейна.

Бассейновый подход к управлению водными ресурсами требует для своего успешного применения постоянного сбора информации, как во временном измерении, так и в пространственно-площадном-высотном. Факторы и процессы формирования водных ресурсов, так же как и их использования, до последнего времени анализировались на основе бумажных цифровых данных, не всегда охватывающих полный состав информации и многосторонний характер взаимодействия факторов. Дискретность сбора данных не всегда создавала целостную и непрерывную картину происходящего. Кроме того явления, происходящие в бассейне, как под влиянием воды, так и вследствие антропогенного влияния, изменения климата постоянно воздействуют на изменение наблюдаемых характеристик и требуют их фиксирования на площади и в течение времени. Все это выдвигает использование дистанционных методов распознавания объектов и образов в разряд первоочередных задач организации информационной системы бассейна.

Современные требования к управлению бассейнами рек включают как наблюдения за стационарно происходящими естественными изменениями явлений, так и требования к учету тех изменений, которые происходят под действием антропогенного давления. Дистанционные измерения расширяют значительно возможность наблюдения, анализа и более быстрого реагирования на происходящие изменения, особо в условиях нарастания экстремальных явлений: паводков, засух, дейгиша и т.д. Одновременно они позволяют оценивать результаты и воздействия на природу мероприятий, намеченных для роста продуктивности воды и земли.

Особое место в этих воздействиях занимает мелиорация, которая связана со строительством, поддержанием и устойчивым использованием различных видов дренажа (горизонтального – открытого и закрытого; вертикального, комбинированного). Особенность этого вида водно-мелиоративных мероприятий состоит не только в необходимости при их проектировании учитывать природную изменчивость факторов, определяющих природные требования (капиллярные свойства, глубина и мощность грун-

товых вод, залегание различных грунтовых слоев, в том числе водоносных горизонтов, засоления почв и минерализации грунтовых вод, наличие напорных вод и т.д.). Главное – после завершения строительства возникает острая необходимость в постоянном (или периодическом), в зависимости от назначения контроля за их работоспособностью, за эффективностью и достижением проектных (необходимых) показателей водоотведения и регулирования уровня грунтовых вод и засоления. Особенностью всех этих мероприятий являются пределы их пространственного распространения, изменчивость всех этих характеристик и явлений, которые являются требованиями к дистанционным измерениям по точному определению их границ.

Водные измерения имеют свои особенности, но в определенной степени также могут выполняться с помощью дистанционных измерений. В первую очередь, это относится к границам бассейна и определению зон водосбора, рассеивания, использования, а также

различных водных объектов, к определению параметров смешиваемых потоков, к построению батиметрических кривых, к динамике снегового покрова и границ обледенения, а также к изменению положения и параметров рек, озер, ручьев и т.д. По мере развития работ по дистанционным измерениям появились возможности вовлечения новых ранее недоступных характеристик, таких, например, как водообеспеченность территории.

При этом характеристики водообеспеченности могут быть прослежены за продолжительный период и проанализированы, является ли это случайным явлением или характеристики данной зоны, что наталкивает на поиск причин недовоодообеспеченности или излишней водообеспеченности.

Хотя интенсивное использование космических наблюдений является новым веянием современного этапа изыскательских и мелиоративных работ, но первые попытки применить ДИ в водохозяйственной и орошаемой практике относятся к 70-80 годам советского периода. Основным инструментом дистанционных измерений была аэрофотосъемка, и хотя стоимость ее была достаточно высокой, в это время была проведена выборочная проверка полноты использования орошаемых земель в бассейне р. Сырдарья и сопоставление ее с отклонениями и полевыми данными (БВО «Сырдарья», Ю.В. Толстунов). В этот же период институт САНИИРИ использовал аэрофотосъемку для очерчивания площади полива на опытных участках, а также для определения мест закупорки закрытого дренажа. На снимках подпоры воды в закрытых дренах увеличивают увлажнение подкомандной территории и на аэрофотосъемках они более темные по сравнению с хорошо дренированной территорией, которая фиксируется светлыми полосами вдоль хорошо дренированных земель, и на аэрофотосъемках они более темные по сравнению с хорошо дренированной территорией, которая фиксируется светлыми полосами вдоль хорошо дренированных земель.

Длительное время наши страны отставали в использовании ДИ в водном хозяйстве и мелиорации. Определенный прорыв в этом отношении был сделан с помощью немецких специалистов ГТЗ в процессе исследования осушенного дна Аральского моря и Приаралья (Г.В. Стулина, Е. Рощенко, Н. Огарь) силами НИЦ МКВК и Казахского центра по экологии. Впервые процессы опустынивания и изменения геоландшафтов под влиянием осушки и одновременно в результате облесения были исследованы комбинации дистанционных наблюдений спутника Landsat 8 с наземным полевым обследованием 8 экспедициями в период с 2005 до 2010 г. Результаты были опубликованы в работе «Комплексные дистанционные и наземные исследования осушенного дна Аральского моря», Т, 2007.

В этот же период с использованием космических снимков был определен объем заиления Междуреченского водохранилища (Е. Рощенко). В последующем постоянная (4 раза в год) оценка состояния водных объектов Арала и Приаралья, а также соответствующая оценка водно-болотных угодьев (ветландов) с 2008 г. осуществляется силами группы ГИС НИЦ МКВК (Ш. Заитов и И. Рузиев). Данные публикуются систематически на портале CAWater-Info - [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net)

Среди других задач, решаемых в НИЦ МКВК силами и с использованием космических результатов при методическом участии немецких университетов Вюрцбург, Потсдам GFZ, целый комплекс исследований в рамках проектов LaVaССа (Фонд Фольксвагена) и САWa (Министерство иностранных дел ФРГ), результаты которого опубликованы в данном сборнике.

В проекте LaVaССа нами произведен возврат к разработанной в советское время методике программирования урожая, где на основе капитальных работ Агрофизического Ленинградского института в НПО САНИИРИ была обследована и адаптирована к условиям Голодной степи поэтапная факторная зависимость различных уровней продуктивности в зависимости от их обеспечения как природными ресурсами (климатическими, почвенными, гидрогеологическими, водными), так и организационно-хозяйственными (технологическими, людскими, механизмами) и т.д. На примере исследований в Хорезмской области и Каракалпакии показана реальная характеристика динамики уровней продуктивности от потенциальной до реального уровня в хозяйстве. При этом показано, что целый ряд дистанционных измерений может быть использован в оценке как потерь урожая из-за отдельных факторов недообеспечения, так и определении резервов в приближении к потенциальной урожайности. Это относится не только к почвенным характеристикам, а также мелиоративной площадной оценке земель, но к ровности рельефа, к обеспечению гумусом, удобрениями, освещенности и т.д. (Программирование урожая, Духовный В.А., Стулина Г.В., Нерозин С.А., Солодкий Г.Ф.). Более того именно в этих ис-



следованиях была нащупана связь отклонения от технологических и водных регламентов с поведением индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который соответствовал изменению коэффициента культур. При этом очевидно, что возможность ДИ намного больше, чем нащупано ныне, ибо из всего набора почти 70 различных индексов и вариантов спектрального анализа космических снимков широко эксплуатируется только NDVI, возможность остальных в идентификации наземных и водных показателей еще ждут своих исследователей.

Созданный в составе проекта CAWa механизм WUEМОСа (Water use efficiency model) включает в себя набор и анализ выполненных наблюдений результатов спутников MODIS и Landsat, которые представляют пользователю как динамику площадей под разными культурами, так и их уровень, водообеспеченности, занятость площадей и т.д. С помощью этого набора показателей можно определить КПД системы, использование земель под посевы повторных культур и т.д. Хотя этот механизм еще не доведен до совершенства с точки зрения точности представленных результатов, но именно WUEМОСа может быть преобразован для контроля за прохождением технического процесса формирования урожая и его обеспеченности различными факторами.

В результате накопленного опыта в этих проектах, а также в проекте PEER «Адаптация к изменению климата в бассейне р. Амударья» можно сформулировать целый ряд направлений, которые должны быть развиты в ближайшее время в использовании дистанционных методов в водном хозяйстве и орошаемом земледелии.

#### **По водным ресурсам:**

- изменение течения русла рек, построение профилей поперечного сечения выбранных створов, определение контуров растекания или притока к руслу реки; оценка потерь на испарение с водной поверхности и увлажненных территорий; участков в построении водного баланса участков рек; определение скорости и времени добегания по руслу реки; оценка русловых процессов;
- определение динамики наполнения водохранилищ и их отражение; оценка степени заиления водохранилищ;
- оценка равномерности водообеспечения различных участков бассейна и участков рек, а также обводненных территорий.

Для всех этих задач масштаба, поверхности и степени разрешения космических снимков MODIS и Landsat вполне достаточно.

## Ландшафты и земельные ресурсы

- оценка изменения состояния естественных ландшафтов за определенный промежуток времени;
- оценка изменения степени урбанизации земель;
- рост антропогенного давления на ландшафты;
- динамика опустынивания – временно (под влиянием маловодья) и динамично-изменяющегося (нарастающего или убывающего); выявление причин этого явления.

Для вышеуказанных задач нынешние возможности имеющихся бесплатных снимков, имея в виду использование в производственных целях по масштабу, точность и периодичность, тоже достаточно.

- картографирование посевов – основных и повторных;
- определение водопотребления сельхозкультур; в том числе транспирации и физического испарения;
- оценка потерь воды из каналов;
- изменение засоленности земель, а также их дренированность;
- оценка достаточности дренирования и т.д.

Вся эта группа задач требует в настоящее время повышения степени точности и распознаваемости образов, ибо начиная с основного показателя – площади под культурами и их дифференциация дают больше расхождения, в масштабе меньше района, над которыми сейчас идет работа. Точно также требует использования других спутниковых снимков (Sentinel, Rapid Eye) работа на уровне АВП и фермерских хозяйств.

Особая возможность представляется в расширении использования отдельных индексов, кроме NDVI при наблюдении за их применением по ходу развития для определения технологических и ирригационных отклонений от нормального развития и практически для программирования урожая.

## **Определение основных показателей использования водных ресурсов по областям Узбекистана**

**Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф., Рузиев И.И.**

### **Введение**

В Узбекистане насчитывается 4,4 млн. га орошаемых земель, то есть 80 % от общей площади. Затраты оросительной воды в зависимости от водообеспеченности года колеблются от 3 до 6 млрд.м<sup>3</sup>.

Основными выращиваемыми культурами являются хлопчатник, пшеница, кукуруза, рис, овощи. Планы водопользования, составленные в БУИСах на основе гидромодульного районирования и структуры посевов, являются требованиями к режиму управления ирригационной системой. Имея довольно строгую, оправданную систему планирования орошения, БУИСы не имеют аналогичной системы по оценке фактической водообеспеченности.

Нет механизма учета используемой воды, а самое главное оценки её продуктивности, где учитывается не только общий объем, но и затраты воды на единицу продукции.

Эта сторона оценки особенно важна, так как в условиях лимитированных природных ресурсов важно их разумное использование и распределение.

В связи с этим, понятно желание усилить это направление в исследованиях оценки использования водных ресурсов.

Разработка базы данных WUEMOCA преследует эту цель.

WUEMOCA – это набор технологий с базой данных, направленных на обеспечение онлайн инструмента для региональных оценок эффективности водопользования на всех обширных массивах орошения в нижнем течении трансграничного бассейна Аральского моря. Основная цель – обеспечить информацию об урожайности основных культур, а именно хлопка, риса и пшеницы на основе свободно доступных данных дистанционного зондирования (Landsat 30 м, MODIS 250 м) и метеорологических данных (ECMWF), агрегированных на разных уровнях, от районов до зон планирования и областей. С помощью этой части инструмента можно определить отрицательные тенденции развития (раннее предупреждение и локализация признаков сельскохозяйственной засухи, нехватки урожая)

WUEMOCA обладает потенциалом обеспечения и использования ГИС и спутниковых снимков для оценки многих параметров, в том числе покрытия сельскохозяйственных культур, состояния поверхности, состояния посевов через MDVI, листовой индекс и т.д.

Существующие модели позволяют рассчитать эвапотранспирацию растений и её ущерб от обеспеченности водой.

### **Методика**

Оценка продуктивности воды и других ресурсов проводится на основе анализа параметров состояния посевов получаемых с космических снимков.

Важность такого анализа заключается в том, что продуктивность и эффективность водных ресурсов оценивается как на уровне областей, районов, АВП так и отдельных конкретных полей. Кроме того, такой подход позволяет проводить оценку в течение вегетации и корректировать ситуацию.

Предлагаемый анализ преследует несколько промежуточных оценок, окончательной целью которых является определение индикаторов, которые позволили бы оценивать продуктивность воды.

Набор индикаторов включает:

NDVI – индекс вегетационного покрытия;

ET<sub>c</sub> – расчётная эвапотранспирация, определяемая по методике REQWAT;

ET<sub>a</sub> – эвапотранспирация, полученная моделированием (S-SEBI) с имеющихся спутниковым снимком;

F<sub>1</sub>факт – фактическая водоподача (статистические данные);

F<sub>2</sub>факт к – фактическая водоподача с учетом КПД систем;

F<sub>3</sub>факт к + GW + Rain – фактическая водоподача с учетом в балансе участка грунтовых вод и осадков и КПД системы;

F<sub>план</sub> – водоподача плановая.

### **Результаты исследований**

Исследования различных показателей орошения были проведены на уровне районов и областей за период с 2012 по 2016 годы. В данной работе приведены средние результаты по областям Узбекистана.

## Анализ фактической эвапотранспирации ЕТа

Фактическая эвапотранспирация, полученная с помощью космических снимков характеризует реальную величину транспирации растений и физическое испарение с поверхности почвы.

Из изученных подходов для получения ЕТфакт (ЕТа) и затем определения водного стресса при развитии растения только подход S-SEBI может быть использован с учетом имеющихся данных и информации по всей зоне проекта (Biggs, 2016). Для него не требуются данные наземных наблюдений, и была доказана его пригодность для больших зон. Для определения фактической эвапотранспирации использовались следующие наборы данных из системы хранения данных: спутниковые данные MODIS (температура на поверхности земли, NDVI, альбедо), климатические данные (радиация, температура, осадки и относительная влажность) и коэффициенты прозрачности атмосферы по эмпирическим моделям с использованием числа часов солнечного сияния в день (Vaigorgia, 2004).

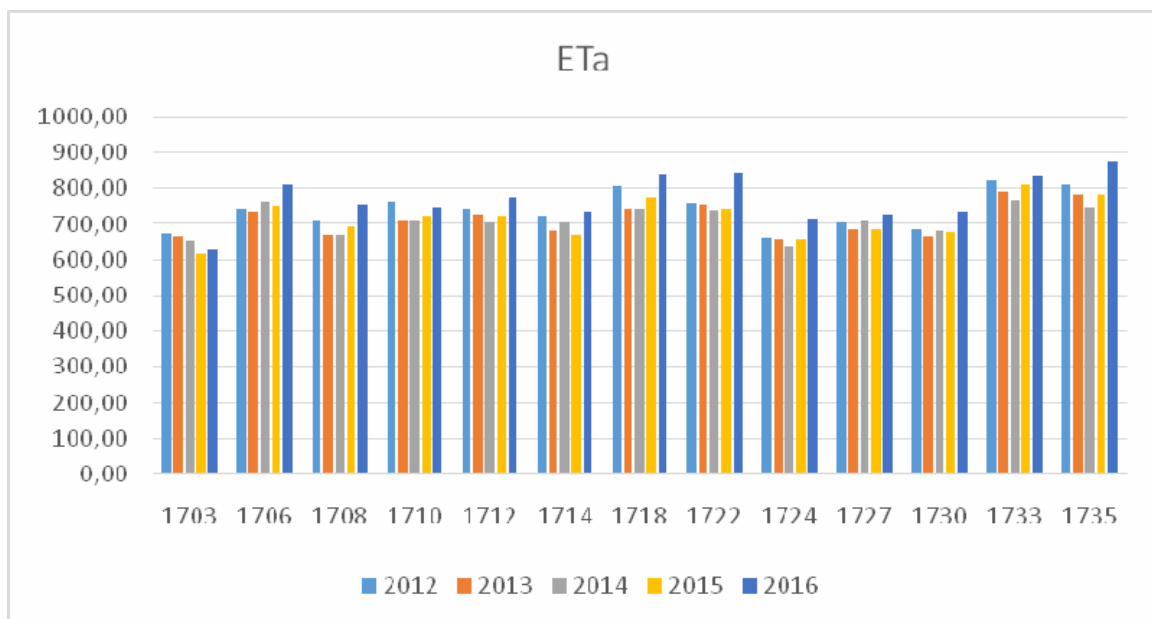


Рис. 1. Изменение величины ЕТа

Величина ЕТа незначительно меняется по областям, колеблясь от 600 до 900 мм в год. Наименьшие значения показаны в Андижанской, Ферганской, Ташкентской и Сырдарьинской областях. Самые большие значения в Хорезмской области и в Каракалпакстане, остальные области имеют промежуточные значения (рис. 1).

## Анализ водообеспеченности

Анализ водообеспеченности возможно проводить по нескольким параметрам:

$$E_{Ta} / E_{Tc};$$

$$F_{3\text{факт}} / E_{Tc};$$

$$F_{1\text{факт}} / W_{\text{план}},$$

где:

$E_{Ta}$  – замеренная эвапотранспирация;

$E_{Tc}$  – расчётная эвапотранспирация;

$F_{1\text{факт}}$

– фактическая водоподача, статистические данные БУИС, УИС;

$F_{3\text{факт}} = F_{1\text{факт}} + GW + Rain$  – фактическая водоподача с учетом в балансе участия грунтовых вод и осадков и КПД системы;

$W_{\text{план}}$  – плановая водоподача, статистические данные БУИС, УИС.

Соотношение  $E_{Ta} / E_{Tc}$  (рис.2) показывает, что обеспечение водными ресурсами неодинаково по областям.

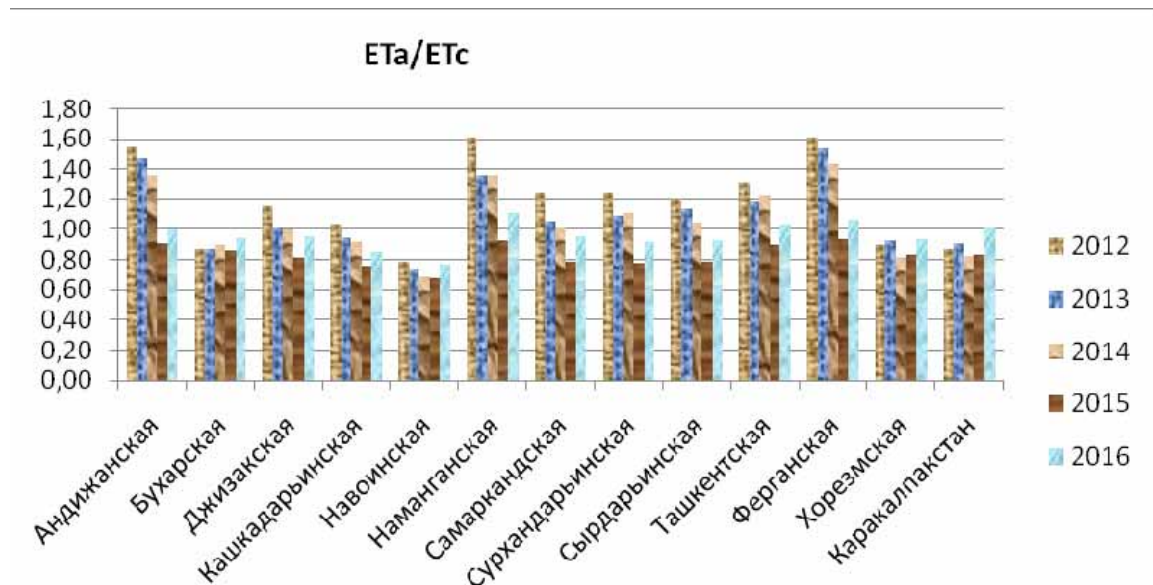


Рис 2. Оценка водообеспеченности. Анализ соотношения  $E_{Ta}/E_{Tc}$

Излишне обеспеченными в большой степени оказываются области, находящиеся в голове рек и каналов: Андижанская, Наманганская, Ферганская с величиной  $F_3$  Факт /  $ET_c$  более 1. Только в некоторые годы оказываются обеспечены остальные области, за исключением Хорезмской, Бухарской, Навоийской областей и Каракалпакстана с величиной обеспеченности равной 0.6-0.7.

Ещё более наглядно демонстрирует данную тенденцию соотношение  $F_3$  факт /  $ET_c$ .

Андижанская, Наманганская, Ташкентская и Ферганская области характеризуются величиной около 1. Водообеспеченность других областей составляет 0,6-0,8 (рис.3).

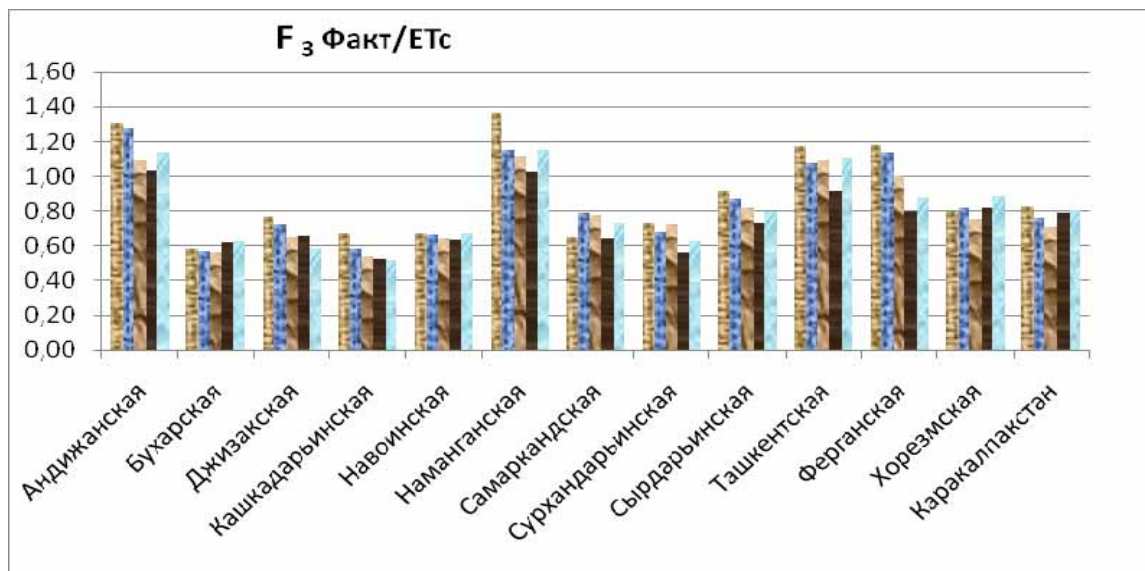


Рис 3. Оценка водообеспеченности. Анализ соотношения  $F_3$  Факт/ $ET_c$

Заслуживают внимания интересные показатели соотношения между фактической и плановой водоподачей по годам. Джизакская, Кашкадарьинская области получают всего 0,6-0,8 объема воды от плана. Чётко соответственно плану ежегодно получают воду Сурхандарьинская, Сырдарьинская, Ташкентская области, Хорезмская область и в редкие годы Каракалпакия, остальные области получают по 0,8 от плана, в том числе Андижанская, Наманганская области с высокой степенью обеспеченности (рис 4).

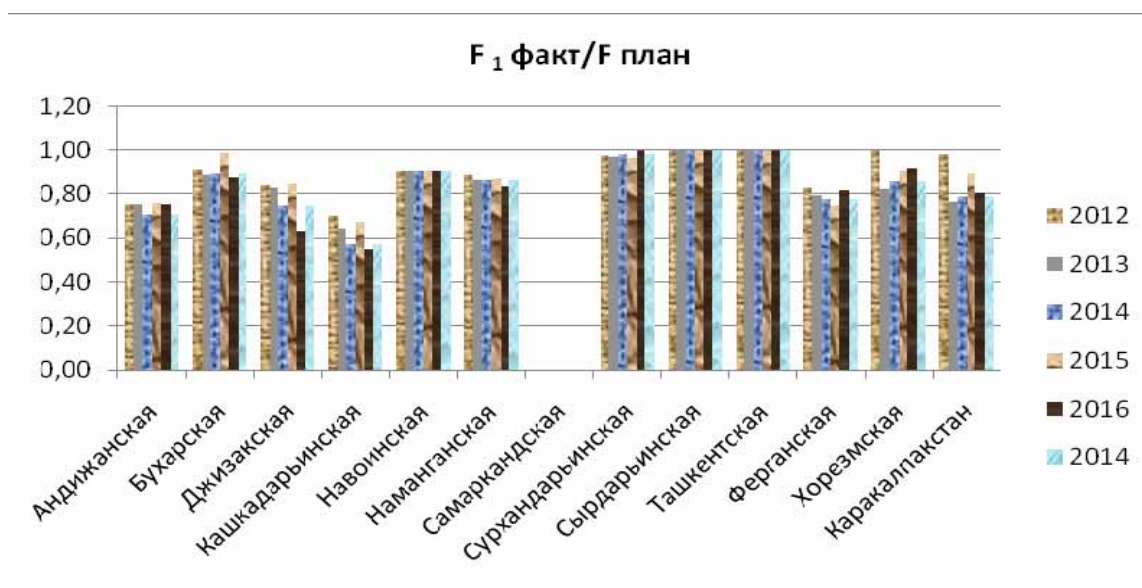


Рис. 4. Оценка водообеспеченности. Анализ соотношения  $F_3$  факт/Fплан

Настораживает распределение подачи воды в течение вегетации (рис. 5) в среднем по республике.



Рис. 5. Анализ соотношения  $ET_a/ET_c$  подекадно

Весенние месяцы (13-14 декады) прослеживается достаточная обеспеченность равной 1, в некоторые годы даже более единицы. Однако, при дефиците в летние месяцы, в самый напряженный период вегетации (15-23 декады) наблюдается недоподача воды (с уровнем обеспеченности 0.4-0.8). В то же время существуют огромные неоправданные затраты воды осенью



в 26-27 декаду. И это объясняет то, что за сезон в среднем складывается недообеспеченность водными ресурсами.

### **Заключение**

Приведенный анализ демонстрирует широкие возможности использования космических снимков для оценки водообеспеченности орошаемого земледелия, организации поливов и оценка их эффективности.

Использование космических снимков позволит сократить наземные наблюдения. Однако, при этом надо помнить, что проверка результатов необходима и наземные исследования не исключаются на этапе апробации предлагаемого подхода, который позволит выявить горячие точки и помочь улучшить управления водой.

## Инструмент расчета продуктивности воды и земли на базе данных дистанционного зондирования

Сорокин А.Г., Тошпулатов Р.

В статье приводятся результаты части работ, выполненных в НИЦ МКВК, в рамках проекта Regional Research Network “Central Asian Water”, Phase III, “RS-based Monitoring of Land Use and Water Efficiency” - разработка веб-инструмента WUEMoCA - Water Use Efficiency Monitor in Central Asia.

WUEMoCA (Water Use Efficiency Monitor in Central Asia) разрабатывается и тестируется специалистами University of Wuerzburg, Institute of Geography and Geology, Department of Remote Sensing (Christopher Conrad, Lucia Morper-Busch), Green Spin GmbH (Gunther Schorcht) в сотрудничестве с НИЦ МКВК (В.А.Духовный, А.Сорокин, Г.Стулина, Г.Солодкий, Р.Тошпулатов, Д.Сорокин, Ш.Муминов, Ш.Зайтов, И.Эргашев).

Посредством WUEMoCA пользователю доступна информация о площадях орошения, урожайности основных с/х культур в рамках отдельных контуров (областей, районов, полигонов) бассейна Аральского моря на основе данных дистанционного зондирования MODIS 250 м. Процесс обработки спутниковых снимков включает: автоматизированную загрузку спутниковых снимков, обработку данных, классификацию и оценку биомассы, расчет урожайности.

“Полигон пользователя” разработан командой НИЦ МКВК (А.Сорокин, Р.Тошпулатов) и является составной частью инструмента WUEMoCA. В нем реализованы разработанные в НИЦ МКВК концепция и алгоритмы, позволяющие пользователю дополнить ограниченные возможности WUEMoCA в части оценки продуктивности воды и земли.

Заслугой НИЦ МКВК также является написание для архитектуры WUEMoCA нового кода (программист – Р.Тошпулатов), основанного на технологии Model-View-Controller (MVC), разделяющей логику представления (интерфейса пользователя) и логику приложения, что позволило модернизировать интерфейс, приспособив его к требованиям пользователя.

Рабочая версия WUEMoCA доступна по адресу **wuemoca.net**.

Пользователь WUEMoCA имеет доступ к данным:

- По землепользованию – площадь орошения, площадь под с/х культуру, доля площади с/х культуры в площади орошения,

- По урожайности (только для трех культур – хлопчатнику, пшенице, рису) и валовой продукции,
- По фактической эвапотранспирации –  $E_{Ta}$  (в документации WUEMoCA –  $E_{Tf}$ ),
- По индексу водообеспеченности с/х культуры ( $V_c$ ), - рассчитывается как отношение  $E_{Ta}$  к расчетной эвапотранспирации с/х культуры в стандартных условиях (нормативной),
- По индексу эффективности орошения (ирригации) –  $V_{ir}$ , - рассчитывается как отношение  $E_{Ta}$  к подаче воды в контур (мм); этот показатель отображает произведение КПД системы на КПД техники полива в фактическом их размере.

### **Концепция “Полигон пользователя”**

Концепция предполагает ввод в WUEMoCA дополнительных возможностей для пользователя:

- Изменения/добавления и ввода данных пользователя – в табличной форме (через окно интерфейса), в ГИС-формате по контуру объекта исследования (карта орошаемых массивов)
- Запрашивать расчетную информацию по эффективности водопользования и оценке продуктивности (по ряду индикаторов).

Пользователь должен ввести дополнительную информацию (без этого инструмент “Полигон пользователя” будет выдавать ошибки):

- По урожайности с/х культур (для всех культур, кроме хлопчатника, пшеницы и риса, для которых урожайность рассчитывается на основе обработки космических снимков в WUEMoCA),
- По ценам реализации с/х продукции, выращенной на орошаемых землях,
- По фактической подаче воды в контур (млн.м<sup>3</sup>),
- По осадкам (мм),
- По нормам водоподачи с/х культурам (м<sup>3</sup>/га) – данная информация необходима для распределения общей подачи воды, подаваемой в контур (полигон), по с/х культурам (распределение осуществляется пропорционально установленным нормам).

После ввода дополнительных данных “Полигон пользователя” позволяет рассчитывать показатели по всем с/х культурам. Основные выходные данные:

Валовая продукция (\$) по  $i$ -той с/х культуре

$$G_{pi} = F_i * Y_i * Ц_i,$$

где  $F_i$  – площадь с/х культуры (га),

$Y_i$  – урожайность с/х культуры (тн/га),

$Ц_i$  – цена с/х культуры (\$/тн).

Суммарная валовая продукция (\$)

$$G_p = \sum_{i=1}^n G_{pi}$$

где  $n$  – количество с/х культур.

Продуктивность земли (\$/га) по орошаемому контуру

$$P_F = G_p / F_N,$$

где  $F_N$  – орошаемая площадь нетто (га).

Продуктивность воды (\$/м<sup>3</sup>), подаваемой на контур (полигон) -

$$P_v = G_p / W,$$

где  $W$  – объем подаваемой воды (м<sup>3</sup>)

Продуктивность воды (\$/м<sup>3</sup>), подаваемой на  $i$ -тую с/х культуру

$$P_{vi} = G_{pi} / W_i,$$

где  $W_i$  – объем воды, подаваемой на  $i$ -тую с/х культуру ( $m^3$ )

Удельная водоподача ( $m^3/га$ ) в вариантах

$$dV_1 = W / F_n ;$$

$$dV_2 = (W + O) / F_n ,$$

где  $O$  – объем воды, поступающий в контур (полигон) по атмосферным осадкам ( $m^3$ ).

### Интерфейс

Интерфейс WUEMoCA написан на основе фреймворка ExtJS, версия 6.0.1. Расчетные данные сохраняются в базе данных PostgreSQL и используются для визуализации ГИС-слоев с помощью сервера для управления источниками данных географических информационных систем GeoServer, передаются в интерфейс посредством технологии JSP, используя текстовый формат обмена данных JSON. Для визуализации карт использована библиотека OpenLayers.

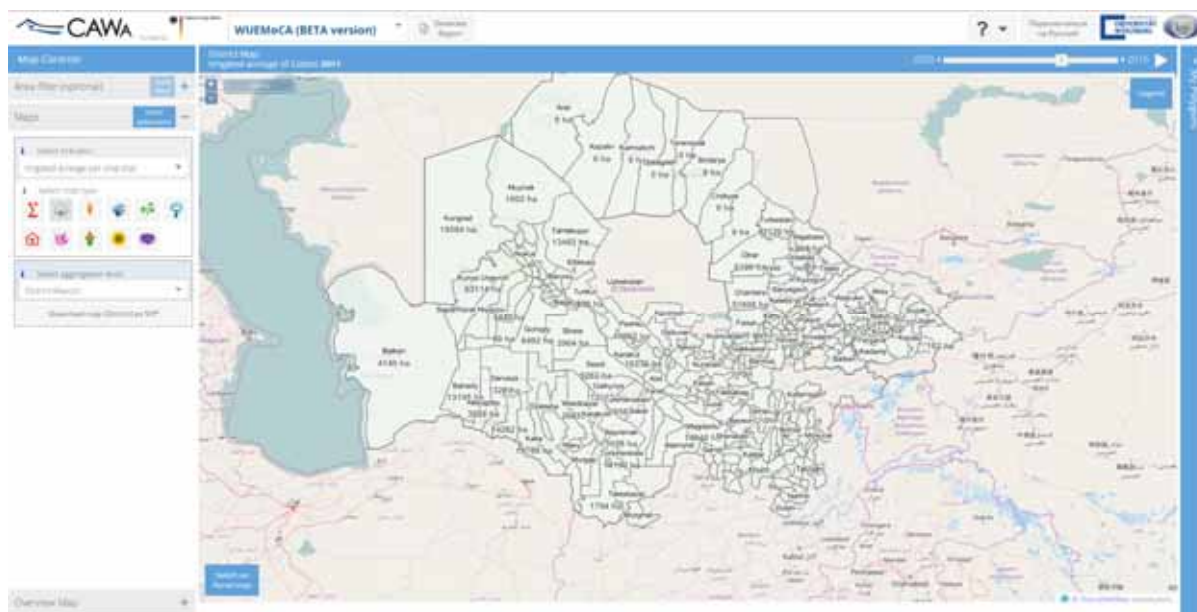
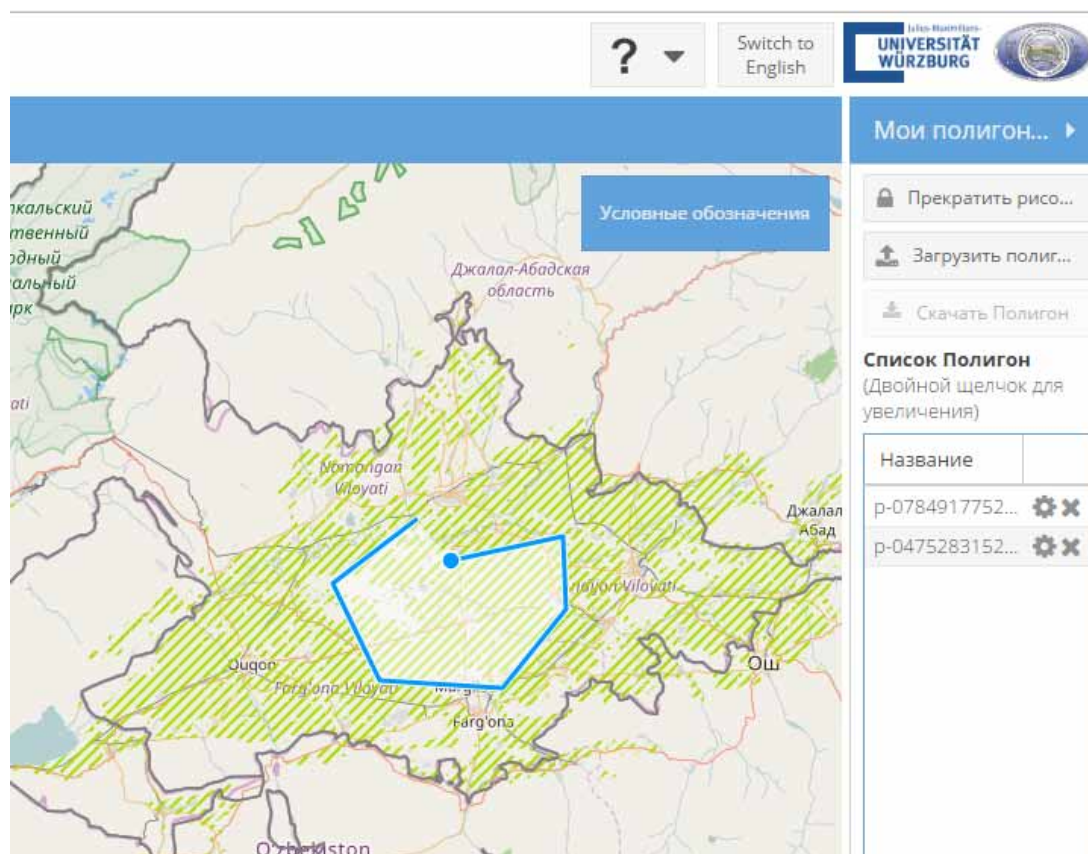


Рис 1. Общий вид интерфейса WUEMoCA через интернет

Основные возможности интерфейса:

- Выбор территории (уровня агрегирования) - область, район, БУИС / УИС, АВП,
- Выбор показателей – орошаемая площадь, посевная площадь, урожайность, валовая продукция и др.,
- Выбор с/х культуры – хлопчатник, пшеница, рис, кормовые, сады и виноградники, кукуруза, подсолнечник
- Доступ к инструменту “полигон пользователя”,
- Визуализация результатов,
- Выбор и формирование отчета: генерация отчета в формате Excel и др.



**Рис 2. Полигон пользователя**

Основные функции интерфейса “полигон пользователя”:

- Выделить границы полигона – ввод пользователем координат полигона,

- Загрузить полигон - выбор SHP файла для его загрузки в систему WUEMоСА,
- Скачать полигон – выбор выходного формата файла: KML, GeoJSON, Shapefile,
- Просмотреть результат по индикаторам.

### Визуализация данных

Данные пользовательского полигона, а также любого другого объекта (область, район, АВП, БУИС, УИС и т.д.) отображаются в виде графиков, окно вызывается при клике на объект. Есть возможность сохранить информацию в табличном виде с помощью импорта в EXCEL, а также сохранить графическую информацию в виде картинки в формате PNG.

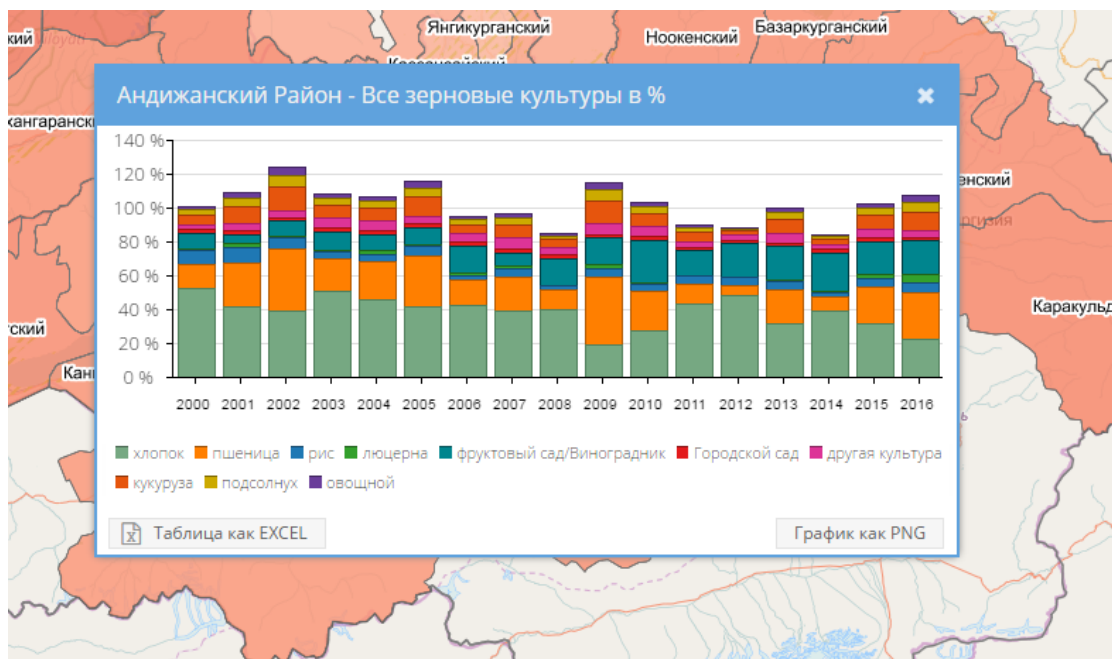
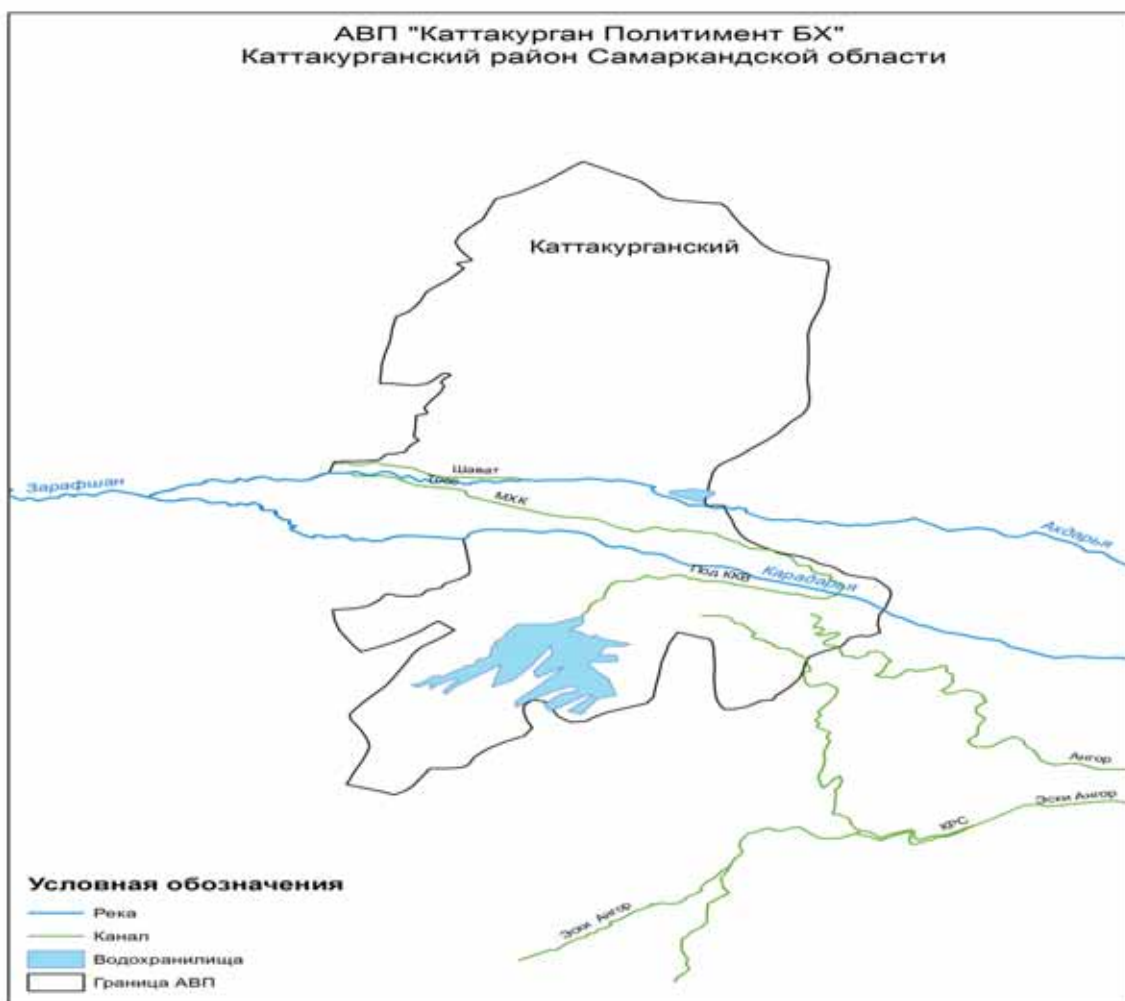


Рис 3. Пример визуализации данных

### Тестирование

Для проведения тестирования “Полигона пользователя” был загружен Shapefile пилотных участков (полей) АВП “Каттакурган Политимент БХ”, расположенной в Самаркандской области. Основные с/х культуры: хлопчатник (около 14 тыс.га), пшеница (около 10 тыс.га), сады и виноградники (около 3 тыс.га), кормовые – люцерна и кукуруза на силос (около

3 тыс.га). Вода на поля АВП подается по каналам Ангор, КРС, Нарпай и др., берущим начало из Заравшана (Акдарьи и Карадарьи).



**Рис 4. Контур пилотного объекта, выбранного для тестирования**

Тестирование показало, что в целом по площадям орошения, расчетные (WUEMoCA) и фактические значения (Заравшанское БУИС) практически совпадают. Расхождения наблюдаются по отдельным с/х культурам. В среднем за 2011-2015 гг. суммарная посевная площадь с/х культур АВП, полученная по WUEMoCA составила 36.98 тыс.га – она отличается от данных Заравшанского БУИС менее, чем на 1 %.

Подача воды в контур, в среднем за 2011-2015 гг., составила 337 млн.м<sup>3</sup>, по годам изменялась в пределах 262-384 млн.м<sup>3</sup>. Расчетная удельная водоподача на 1 га орошаемой площади, в среднем за 2011-2015 гг, составила 9.49 тыс.м<sup>3</sup>.



Расчетные данные по урожайности хлопчатника за 2011-2015 гг. изменяются в пределах 2.9...3.2 т/га, что отличается от данных Госкомстат РУз на 22 % в большую сторону. Расчетная урожайность пшеницы изменялась от 3.8 до 4.8 т/га, что отличается от статистических данных на 21 %, но в меньшую сторону. В отдельные годы отклонения расчетных данных от статистики не превышает 15 %.

Расчетная продуктивности воды, подаваемой на поля, оценивается по всему контуру в  $0.43 \text{ \$}/\text{м}^3$ . Наименьшая продуктивность воды получена по хлопчатнику, наибольшая – по садам, виноградникам и овощам

Расчетная продуктивность орошаемых земель, засеянных хлопчатником, составляет 1.2...1.4 тыс.\$ на 1 га, пшеницей – 1.8...2.3 тыс.\$ на 1 га. В целом по контуру продуктивность выше (за счет других с/х культур – виноградников, садов, овощных культур) и оценивается в среднем за период в 3.9 тыс.\$/га.

В тесте, при расчете валовой продукции (в стоимостном выражении) приняты следующие цены на реализацию с/х продукции: по хлопчатнику – 410...490 \$/тн, по пшенице – 430...590 \$/т, по овощам – 650...750 \$/т, по садам и виноградникам – 1500...1780 \$/т.

Тестирование показало, что для практической работы данного инструмента размер полигона должен быть не менее 50 га.

### **Оценка эффективности использования водных ресурсов**

Подход НИЦ МКВК по оценке эффективность водопользования в рамках системы WUEMoCA основывается на сопоставлении трех типов показателей:

- Потребности в воде, рассчитанных по эвапотранспирации (испарения + транспирации) с/х культур -  $E_{Tc}$ ,
- Фактического водопотребления, полученного на основе обработки статистических данных и данных экспедиций, - для больших объектов (области, районы) эти данные могут быть “защиты” в БД WUEMoCA, а для небольших и контуров (отдельные оросительные системы, АВП) - вводиться пользователем посредством инструмента “Полигон пользователя”, -  $W_a$
- Фактического потребления воды, полученного на основе обработки космических снимков – выхода WUEMoCA по фактической эвапотранспирации -  $E_{Ta}$ .

Эвапотранспирация с/х культуры в стандартных условиях (мм/сутки) рассчитывается по линейной зависимости:

$$E_{Tc} = K_c * E_{To}$$

где  $K_c$  – коэффициент культуры.

$E_{To}$  – испаряющая сила атмосферы, выраженная в виде эталонной эвапотранспирации (со стандартной растительной поверхности), является климатическим параметром (т.е. зависит только от климатических данных) и рассчитывается по методологии ФАО (расчет  $E_{To}$  по формуле Пенмана-Монтейта).

Отношение  $E_{Ta}/E_{Tc}$ , полученное в динамике (по декадам) в течение всей вегетации, характеризует обеспеченность водой растений в данном контуре орошаемых земель, но также отражает и возможное влияние других факторов, угнетающих растения (болезни, вредители, засоленность земель). Условно (при пренебрежении другими факторами) показатель  $E_{Ta}/E_{Tc}$  может характеризовать: дефицит воды (при  $E_{Ta}/E_{Tc} < 1$ ), избыток воды, т.е. непродуктивные ее потери (при  $E_{Ta}/E_{Tc} > 1$ ).

Отношение  $E_{Ta} * F_n / W_a$  характеризует потери воды в контуре полигона, т.е. показывает насколько эффективно используются водные ресурсы. Здесь:  $E_{Ta}$  – фактическая эвапотранспирация (мм),  $F_n$  – орошаемая площадь нетто (м<sup>2</sup>),  $W_a$  – подача воды в полигон (м<sup>3</sup>).

Оценка потерь продукции каждой с/х культуры от дефицита воды основывается на расчете снижения урожайности с/х культуры, т.е. разницы между потенциальной (максимальной) урожайности  $Y_m$  и расчетной (прогнозируемой) или фактической урожайности  $Y_a$ .

Потери урожайности можно определить из относительной урожайности  $Y_a/Y_m$ , которая рассчитывается по линейной зависимости:

$$Y_a/Y_m = 1 - K_v * (1 - E_{Ta}/E_{Tc}),$$

где:  $K_v$  – коэффициент (фактор) стресса, показывающий снижение относительной урожайности  $Y_a/Y_m$  по мере уменьшения относительной эвапотранспирации  $E_{Ta}/E_{Tc}$ , вызванного ростом дефицита воды.

В настоящее время методики расчета  $E_{To}$ ,  $E_{Tc}$ , а также расчет показателей  $E_{Ta}/E_{Tc}$ ,  $E_{Ta}/E_{To}$ ,  $E_{Tc}/E_{To}$ ,  $E_{Ta} \cdot F_n/W_a$ ,  $Y_a/Y_m$ , реализуются в виде модуля WUEMoCA, управление которого (ввод, вывод данных, запуск программы) будет осуществляться посредством интерфейса “Полигон пользователя”, по декадам, в режиме реального времени, по мере поступления климатических данных и данных по  $E_{Ta}$  в БД WUEMoCA.

В конечном итоге WUEMoCA, как инструмент космического мониторинга, должен стать системой учета, сбора, анализа и распространения данных в границах всего бассейна Аральского моря, оценки состояния и прогноза водохозяйственной ситуации (включая раннюю оценку потерь продукции), дополнением к существующей системе управления на уровне Бассейновых управлений ирригационных систем (БУИС); он должен быть нацелен на решение задач управления, например таких, как текущая (подекадная) оценка водообеспеченности и эффективности использования водных ресурсов, ранняя оценка урожая. Инструмент WUEMoCA должен помочь руководителям водохозяйственных организаций понять куда уходит вода, как эффективно она используется, и в конечном итоге – подсказать пути экономии воды и повышения водообеспеченности, продуктивности воды и земли, найти дополнительные резервы, эффективные решения.

## Корректировка границ районов стран бассейна Аральского моря в рамках проекта CAWA IV фаза

Зайтов Ш., Сорокин Д., Рузиев И.

В рамках CAWA проекта создан инструмент WUEMoCA (Water Use Efficiency Monitorin Central Asia) - монитор эффективности использования воды в Центральной Азии. Этот инструмент свободно доступен в интерактивном веб-картографировании для регионального мониторинга орошаемых земель в Бассейне Аральского Моря (БАМ). Результаты мониторинга анализируются на разных уровнях административных и гидрографических границ в виде карт, диаграмм и таблиц. Выполненный анализ на основе **Openstreetmap**, которая, используется в качестве фоновой карты WUEMoCA (<http://wuemoca.net>), показал, что для улучшения результатов WUEMoCA на районном уровне необходимо внести корректировку в границы исследуемых районов. В данной статье приводятся результаты обновления границы районов по бассейну Аральского моря, выполненного специалистами НИЦ МКВК в сфере ГИС и ДЗ.

Для решения этой задачи были собраны необходимые материалы, включая карты из различных источников, в том числе, данные НИЦ МКВК, “DIVA-GIS”, “openstreetmap” и данные из национальных источников странам.

Проведены сопоставления границ районов БАМ по собранным данным. Проведена работа по оцифровке границ районов по Узбекистану, Кыргызстану, Таджикистану и Казахстану. Задача оцифровки решалась с использованием программы ArcGIS 10.3 и на основе Национального источника.

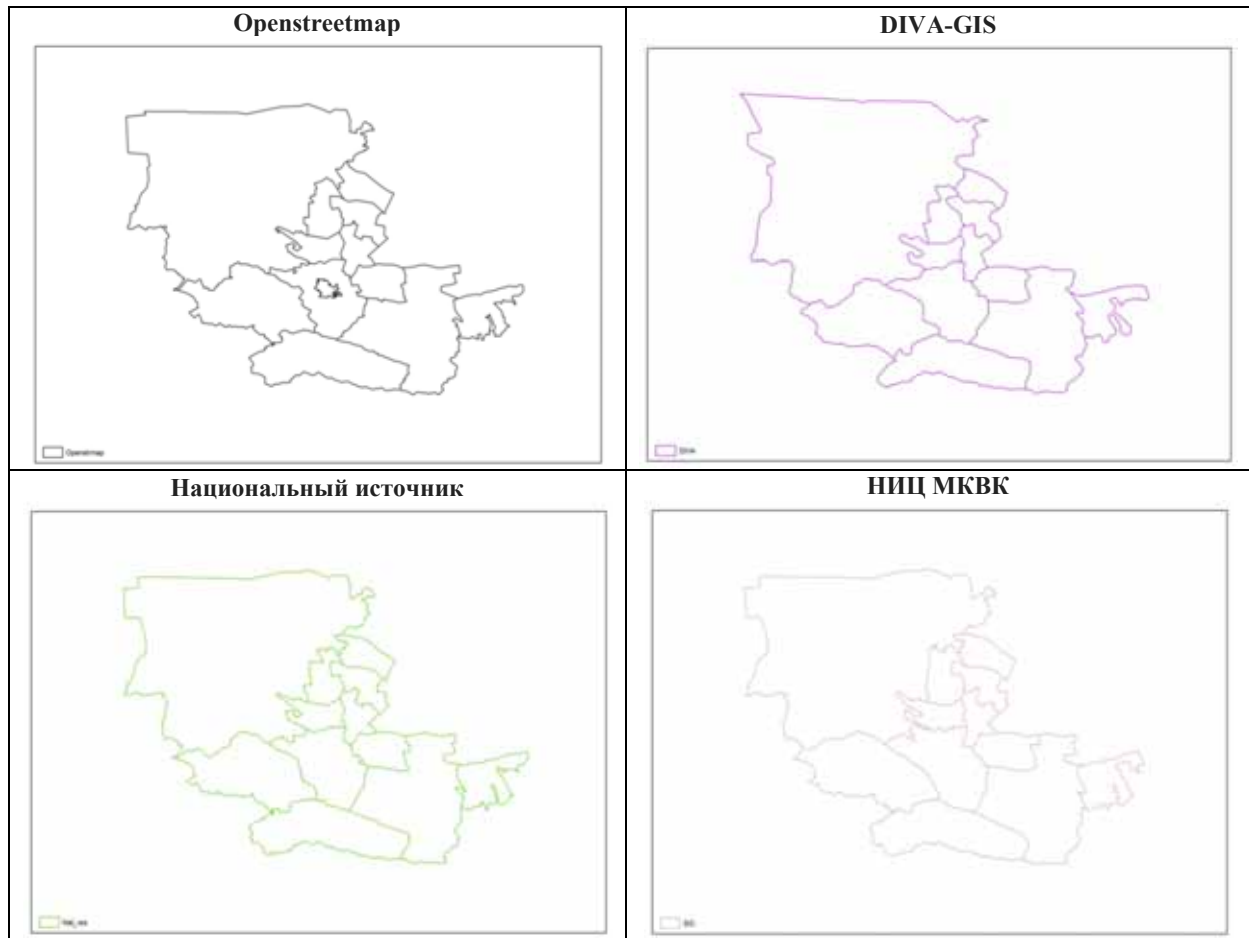


Рис. 1. Результаты оцифровки по разным источникам

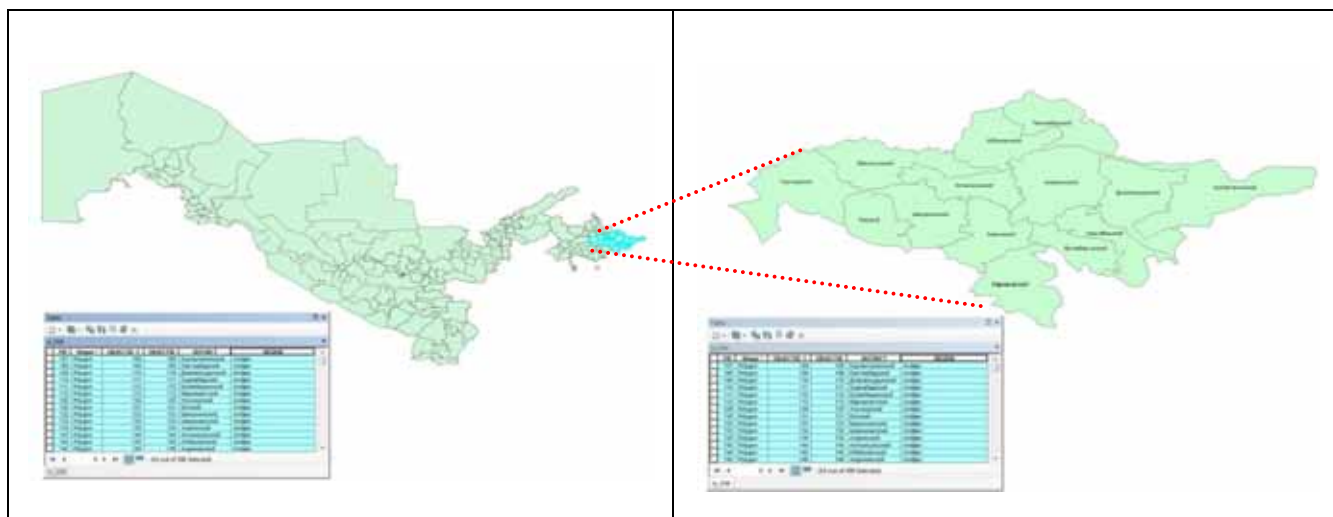


Рис. 2. Сопоставление границ районов Джизакской области

Подготовлены ГИС-слои в виде shape-файлов, с привязанными цифровыми данными (атрибуты, статистика), для отработки процедуры передачи данных в WUEMoCA.

В ходе решения этой задачи выполнены следующие работы:

- Сравнение границ
- Привязка растровых карт
- Создание новых векторных (shape) файлов
- Проверка топологических исправлений и точности (пробелы, щели, наложения, самопересечения)
- Обозначение кодов
- Создание новых областных границ на основе полученных районных границ



**Рис. 3. Новые границы районов по Узбекистану**

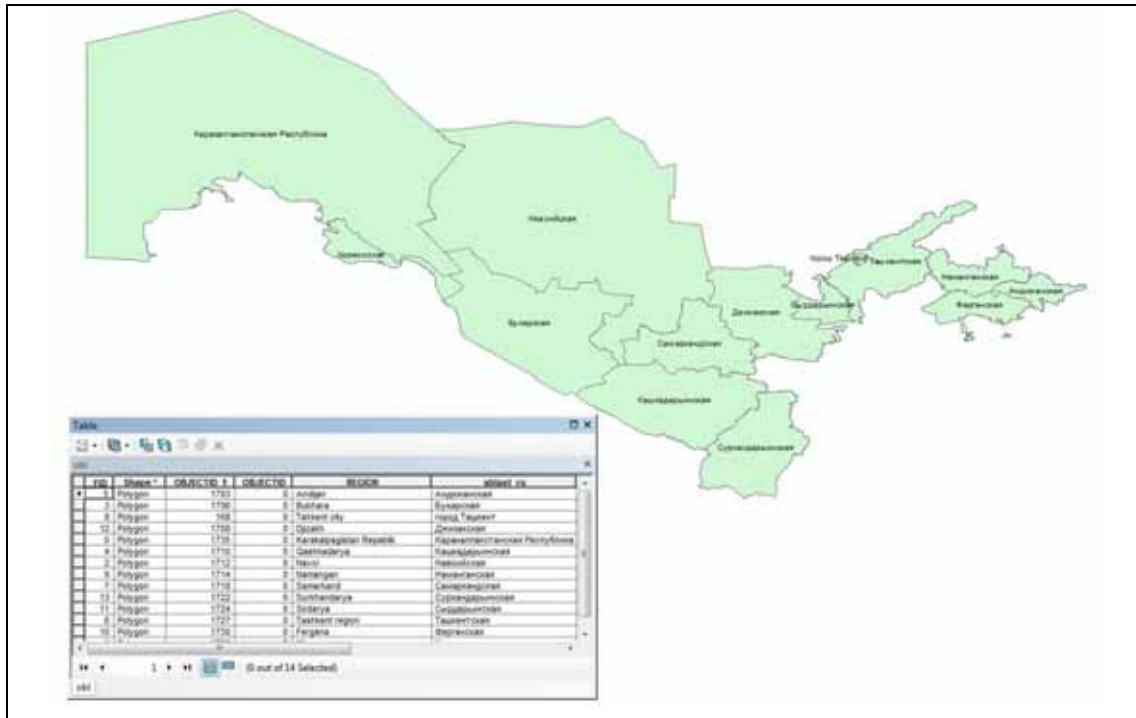


Рис. 4. Новые областные границы на основе полученных районных границ

## Выводы

Выполненная в WUEМоСа корректировка административного деления на уровне районов повысила точность мониторинга в бассейне Аральского моря с использованием этого инструмента.

## Глобальные исследования водохранилищ и озер со спутников и их использование на примере бассейна реки Сырдарья

Крето Ж.-Ф., Бьянкамария С. Арсен А., Берге-Нгуен М., Бекер М.<sup>1</sup>

Крупные водохранилища на реках регулируют сток для выработки электроэнергии, а также могут накапливать воду для сектора орошения и городов. Поэтому, управление работой водохранилищ имеет решающее значение, особенно в случае трансграничных бассейнов, когда необходима координация между странами бассейна. Этот вопрос становится еще более актуальным в полуаридных регионах, где пользователи нижнего течения могут полностью зависеть от попусков воды из водохранилищ, расположенных в верхнем течении. При совместном использовании воды странами верхнего и нижнего течений потенциально возникают полярные интересы, как в случае реки Сырдарья в Центральной Азии. В данном исследовании используются данные дистанционного зондирования (радарная альтиметрия и изображения в оптическом диапазоне частот), чтобы показать потенциал спутниковых данных для мониторинга водных ресурсов, в частности изменений в уровне воды, площади поверхности, запасах воды. Приведены новые результаты мониторинга на период 20 лет на основе спутниковых снимков бассейна Сырдарьи. Погрешность спутниковых данных составляет  $0,6 \text{ км}^3$  при комбинации данных MODIS и спутниковой альтиметрии и всего  $0,2 \text{ км}^3$  для снимков Landsat, что дает 2-4% от среднегодовых колебаний объема в водохранилищах бассейна Сырдарьи. С учетом будущих миссий, таких, как Sentinel-3A (S3A), Sentinel-3B (S3B) и топография поверхности океана и других водных территорий (SWOT), ожидаются значительные улучшения в оценках. Основной инструмент миссии SWOT (радарный интерферометр в Ka-диапазоне) обеспечит также двухмерные карты отметок уровня воды, водохранилищ, рек и пойм с разрешением во времени 21 дня. В глобальном масштабе миссия SWOT охватит водохранилища площадью более  $250 \times 250 \text{ м}$  с 20-см точностью.

---

<sup>1</sup> Перевод с английского. Источник: Global surveys of reservoirs and lakes from satellites and regional application to the Syrdarya river basin. J.-F. Crétau, S. Biancamaria, A. Arsen, M. Bergé-Nguyen, M. Becker / Environ. Res. Lett. 10 (2015)



## 1. Введение

В 20-м веке число водохранилищ было относительно стабильным (до 50-х годов), затем постоянно стало увеличиваться, с достижением пика строительства новых водохранилищ в начале 80-х (Chao et al 2008). В региональном масштабе, водохранилища являются важным компонентом управления водными ресурсами и, с учетом международного характера многих речных бассейнов, могут играть определенную роль в региональной политике. Основная роль водохранилищ заключается в обеспечении регулирования водных ресурсов в бассейнах рек. Они позволяют смягчать негативное воздействие междугодичных паводков, вырабатывать электричество и обеспечивать водой сектор орошения и города.

В настоящее время более 260 рек в мире считаются трансграничными и охватывают 145 стран (Wolf et al 1999, Sood and Mathukumalli 2011). Другими словами, большое число стран зависит от водных ресурсов, формирующихся на территории одной или нескольких стран верхнего течения. Поэтому любое новое строительство плотин или развитие оросительных систем может потенциально создать конфликт. Как ожидается, изменение климата и рост населения увеличат спрос на пресную воду в будущем. Гледиш и Хегре (Gleditsch and Hegre, 2000) показывают, что потенциал конфликтов в трансграничных речных бассейнах вследствие совместного использования воды только усилится в будущем.

Для согласованного использования водных ресурсов трансграничных рек, во многих частях мира бассейновые страны создали международные комитеты по управлению и совместному использованию воды. Хотя, в целом, подобные комитеты являются политической трибуной для обсуждения и принятия странами решений по лимитам водопользования и правовым положениям, зачастую основные данные по общему объему воды в водохранилищах, режимам работы (попуски или накопление воды) и расходам речного стока считаются конфиденциальной информацией, либо мониторинг таких параметров ограничен по экономическим причинам.

На основе модельного анализа Биманс и соавторы (Biemans et al, 2011) показали, что за столетие на глобальном уровне попуски воды из водохранилищ на орошение выросли с 18 до 460 км<sup>3</sup>/год, причем очень неравномерно между разными регионами мира, особенно в Азии, Европе и Африке. Во многих частях мира данные по потребностям в оросительной воде сложно собирать (Biemans et al 2011), а воздействие водохранилищ на расходы речного стока в нижнем течении было наиболее точно определено преимущественно только по Северной Америке (Gao et al 2012).

С начала 90-х, радарная альтиметрия обеспечивает ценную информацию по уровням воды в реках, озерах и водохранилищах (Birkett 1995, Cretaux and Birkett 2006, Calmant et al 2008). Кроме того, спутниковые снимки могут использоваться для получения водных контуров, а в сочетании с данными радарной альтиметрии, позволяют оценить междугодичные и сезонные колебания объемов воды в озерах и водохранилищах (Gao et al 2012, Song et al 2013, Arsen et al 2014). Например, в работе Гао и соавторов (Gao et al, 2012) радарная альтиметрия в сочетании со снимками MODIS использовалась для расчета колебаний запасов воды в 34 крупных водохранилищах мира. Данные по отметкам воды 63 крупных водохранилищ (включая по динамике объемов 15 водохранилищ) также имеются в базе данных “Hydroweb”: [www.legos.obs-mip.fr/en/soa/hydrologie/hydroweb/](http://www.legos.obs-mip.fr/en/soa/hydrologie/hydroweb/) (Cretaux et al 2011a).

С начала эры спутниковой радарной альтиметрии (т.е. 1978 год с момента запуска Seasat) до настоящего времени, несколько миссий использовалось для расчета колебаний отметок воды в озерах и реках: Geosat, T/P, JASON-1, JASON-2, GFO, ENVISAT, ERS-1, ERS-2, HY-2A, SARAL/AltiKa. Отныне и до запуска миссии по топографии поверхности океана и других водных территорий (SWOT) в 2020 году, динамические ряды, полученные из ретроспективных данных, будут продолжены в результате новых миссий (табл.1): S3A (2015) и S3B (2017), JASON-3 (2015), JASONCS (2017). Затем, интерферометр с широким захватом на борту спутника SWOT позволит охватить весь Земной шар с гектометровым диапазоном.

Таблица 1

**Перечень прошлых, текущих и будущих миссий спутниковой радарной альтиметрии**

<b>Миссия</b>	<b>Агентство</b>	<b>Срок эксплуатации</b>	<b>Орбитальный цикл (сутки)</b>
<b>В прошлом</b>			
SEASAT (L)	NASA	1978 (июнь-октябрь)	17
GEOSAT	US-Navy	1985-1990	17
TOPEX/POSEIDON (Ku)	NASA/CNES	1992-2005	10
JASON-1 (Ku)	NASA/CNES	2001-2012	10

GFO(Ku)	US-Navy	1998-2008	17
ERS-1 (Ku)	ESA	1991-2000	35
ERS-2 (Ku)	ESA	1995-2003	35
ENVISAT (Ku)	ESA	2001-2011	35
Настоящее время			
JASON-2 (Ku)	NASA/CNES/NOAA/EUMETSAT	2008	10
SARAL/AltiKa (Ka)	CNES/ISRO	2013	35
HY-2A (Ku)	CAST	2011	14
CRYOSAT-2 (Ku)	ESA	2010	369
В будущем			
JASON-3 (Ku)	NASA/CNES/NOAA/EUMETSAT	2015	10
SENTINEL-3A (ku)	ESA	2015	27
SENTINEL-3B (Ku)	ESA	2016	27
JASON-CS (Ku)	ESA/NASA/CNES/NOAA/EUMETSAT	2017	10
SWOT(Ka)	NASA/CNES	2020	21

Период работы соответствует периоду, когда альтиметры функционировали, но необязательно всему сроку службы спутника. CNES – Национальный центр космических исследований, NASA – Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, ESA – Европейское космическое агентство, NOAA – Национальное управление исследования мирового океана и атмосферы, EUMETSAT – европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников, ISRO – Индийская организация космических исследований, CAST – Китайская академия космических технологий. L-диапазон: 1,275 ГГц, Ku-диапазон: 13,6 ГГц, Ka-диапазон: 35,75 ГГц.

Цель данной статьи – продемонстрировать использование спутниковых данных дистанционного зондирования для обследования водохранилищ на региональном уровне на базе результатов по трансграничному бассейну Сырдарьи в качестве примера. Мы покажем, что при недостатке данных наземных наблюдений, спутники могут оказаться полезным инструментом для целей управления водой.

Статья построена следующим образом: в разделе 2 приведено описание методов дистанционного зондирования, широко используемых в исследованиях колебаний уровня и объема воды в озерах и водохранилищах. Это методология, используемая для базы данных “Hydroweb”. В разделе 3 мы представим и обсудим основные результаты, полученные по спутниковым данным на примере водохранилищ бассейна Сырдарьи в Центральной Азии. Перспективная ситуация и выводы приведены в разделе 4.

## 2. Дистанционное зондирование для мониторинга водохранилищ

В этом разделе мы представим методологии, используемые для расчета уровня и площади поверхности воды в водохранилищах с помощью методов дистанционного зондирования. Это подход, применяемый для расчета продуктов «Hydroweb». Изменения объема воды в водохранилищах затем легко рассчитываются с помощью следующего уравнения, с допущением, что батиметрия озер имеет пирамидальную форму (Abileah et al 2011):

$$\Delta V = \frac{(L1 - L0) \cdot (A1 + A0 + \sqrt{A1 \times A0})}{3}, \quad (1)$$

где  $\Delta V$  - изменение объема между двумя последовательными измерениями,  $L1$ ,  $L0$  и  $A1$ ,  $A0$  – соответственно уровни и площади поверхности на дату  $T1/T0$ .

### 2.1. Спутниковая радарная альтиметрия

Альтиметрическое измерение – это измерение расстояния между спутником и поверхностью Земли по времени радиосигнала, отражаемого обратно на передатчик на борту спутника (Birkett 1995). Основы использования радарной альтиметрии приведены в работах Биркет (Birkett 1995), Крето и Биркет (Cretaux and Birkett 2006), Калмана и соавторов (Calmant et al 2008) и Гао и соавторов (Gao et al 2012). В данной статье методология обработки альтиметрических данных совпадает с методологией, описанной в работе Крето и Биркет (Cretaux and Birkett 2006). Несколько факторов определяют широкое использование радарной альтиметрии в гидрологии:

Ввиду наличия очень большого числа озер и водохранилищ на Земле, невозможно повсеместно проводить наземные наблюдения за ними. Кроме того, количество наземных водомерных постов сократилось в последние годы, либо данные по ним недоступны.

- Спутниковая радарная альтиметрия перешла из экспериментальной в функциональную стадию при поддержке агентств из разных частей мира (США, Европы, Китая, Индии), которые обеспечивают непрерывность сервисов.
- Точность продуктов спутниковой альтиметрии для озер, рек и водохранилищ достаточно высокая, чтобы они могли использоваться в

различных целях, от науки до производства (Biancamaria et al 2011, Ričko et al 2012, Hossain et al 2014).

В работах Крето и соавторов (Cretaux et al 2009) и Рико и соавторов (Ričko et al 2012) показано, что для крупных озер (площадью  $> 100 \text{ км}^2$ ) погрешность продуктов спутниковой альтиметрии может составлять всего лишь 2 см. Однако для узких водохранилищ погрешность варьирует от десятков сантиметров до 1 метра (Duan and Bastiaanssen 2013).

Тем не менее, для большинства водохранилищ альтиметрию можно использовать для определения изменений уровня воды за длительный период времени, поскольку порядок величины изменений лежит в диапазоне от метров до декаметров. Ожидается, что миссия SARAK/AltiKa позволит улучшить эти результаты (Arsen et al 2015).

Альтиметрия развивается в направлении радиолокатора с синтезированной апертурой (SAR), который, как ожидается, улучшит возможности альтиметров измерять отметки уровня воды в небольших и узких водных объектах, таких, как реки и водохранилища. В режиме SAR разрешение вдоль трассы движения (300 м) намного выше, чем в режиме низкого разрешения (LRM), уменьшающем площадь зоны охвата в 100 раз. Более того, предполагается, что отношение сигнала к шуму увеличивается в режиме LRM. SAR будет иметь возможность изменить фокусировку вдоль трассы движения, позволяя сделать лучший выбор по рассматриваемому водоему, тем самым снижая загрязнение сигнала от окружающей территории. При этом орбитальная конфигурация тандема S3A/S3B увеличит охват поверхности Земли. Все вместе, новая конфигурация, орбита и система измерений значительно улучшат, в количественном и качественном выражении, наблюдения за малыми водохранилищами. Поэтому возможно будет провести глобальные обследования водохранилищ к 2015-2016 гг.

## 2.2 Спутниковые снимки

Мы использовали спутниковые снимки Landsat 7 ETM+ и Landsat 5 TM, доступные в архиве снимков GLOVIS Геологической службы США (<http://glovisusgs.gov/>), а также снимки инструмента TERRA/MODIS, который можно получить через рассредоточенные активные архивы НАСА по процессам землепользования <http://https://wist.echo.nasa.gov/api/>. Существует множество методов извлечения водных поверхностей из спутниковых снимков, которые, по количеству используемых полос, обычно, делятся на методы однополосные и многополосные. При использовании снимков Landsat маска воды основывается на контролируемой комбинации много-

полосного отношения, характеризуемого стандартизованным индексом различий водного покрова (NDWI) (McFeeters 1996) и модифицированным стандартизованным индексом различий водного покрова (MNDWI) (Xu 2006). Выбор подходящего значения пороговой величины для создания маски воды может быть очень сложным, поскольку пороговая величина NDWI для обозначения характеристик открытой водной поверхности, как известно, меняется в динамических исследованиях (McFeeters 1996, Liu et al 2012). Эти индексы выражаются следующими уравнениями:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Green} - \text{NIR}}{\text{Green} + \text{NIR}} \quad (2)$$

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{MIR}}{\text{Green} + \text{MIR}} \quad (3)$$

(MIR и NIR – это средняя и ближняя ИК-области спектра). Начиная с начального значения 0,4, мы затем вручную корректируем пороговую величину (все пиксели выше рассматриваются, как находящиеся под водой) от спутника к спутнику, чтобы получить более точный результат при контурировании водной поверхности (McFeeters 1996, Ji et al 2009, Clemens et al 2012, Arsen et al 2014). Класс воды сохраняется постоянным во время исследования для гарантии стабильности классификации.

При простейшем подходе можно выбрать и использовать одну полосу из мультиспектрального снимка для извлечения информации о водной поверхности. В методе, описываемом Крето и соавторами (Cretaux et al 2011b) и Арсеном и соавторами (Arsen et al 2014), было сделано допущение, что сильное поглощение излучения в водяных парах на длине волны  $>1 \mu\text{m}$  позволяет обрисовать открытую воду на озерах, без учета стандартизованного индекса. Этот метод использовался, и его достоверность проверялась несколькими исследованиями в аридных зонах (Abarca-Del-Rio et al 2012, Pedinotti et al 2012, Aires et al 2013), что будет проиллюстрировано в разделе 3 на примере бассейна Сырдарьи.

Более подробную информацию об обработке данных MODIS в Hydroweb можно найти в работе Крето и соавторов (Cretaux et al 2011a) и (Cretaux et al 2011b). Мы также рекомендуем руководство по обработке данных Джи и соавторов (Ji et al 2009). На рис. 1 приведен пример классификации снимка Landsat-5 озера Пауэл, полученного 9 июня 2004 года, на основе теста NDWI.



**Рис.1. Маска воды (черным), полученная с использованием снимков Landsat 5 (9 июня 2004 г.) озера Пауэлл в США и метода на основе индексов NDWI и MNDWI**

### **2.3. Расчет поверхности и объема воды в Hydroweb**

Для расчета изменений площади поверхности водохранилища во времени в Hydroweb мы используем метод, основанный на зависимости уровня и площади поверхности. Мы определяем, когда уровни воды в водохранилище находились на максимальной, минимальной и некоторой промежуточной отметке из динамических рядов данных радарной альтиметрии, чтобы подобрать соответствующие снимки. Предпочтительно используем снимки Landsat 7 ETM+ и Landsat 5 TM, но также MODIS, когда пространственное разрешение не представляет проблемы. Далее обрабатываем 10-15 снимков на разные даты, чтобы рассчитать функцию площади от уровня воды (называемую гипсометрией). Затем площадь поверхности водохранилища пересчитывается с помощью гипсометрии и динамических рядов данных радарной альтиметрии. Выбранная функция представляет собой либо линейную зависимость, либо квадратный многочлен для большего приближения к форме гипсометрической кривой.

Динамические ряды площади поверхности в базе данных Hydroweb могут немного отличаться от результатов других исследований. Эти отклонения вполне понятны. Поскольку нет четкого определения того, где озеро или водохранилище начинается или заканчивается, каждый автор по своему устанавливает границы. Отклонения в результатах могут идти больше за счет погрешностей, связанных с низким разрешением, т.е. неточностей, вызванных различиями в пространственном разрешении между данными высокого и низкого разрешения (Boschetti et al 2004).

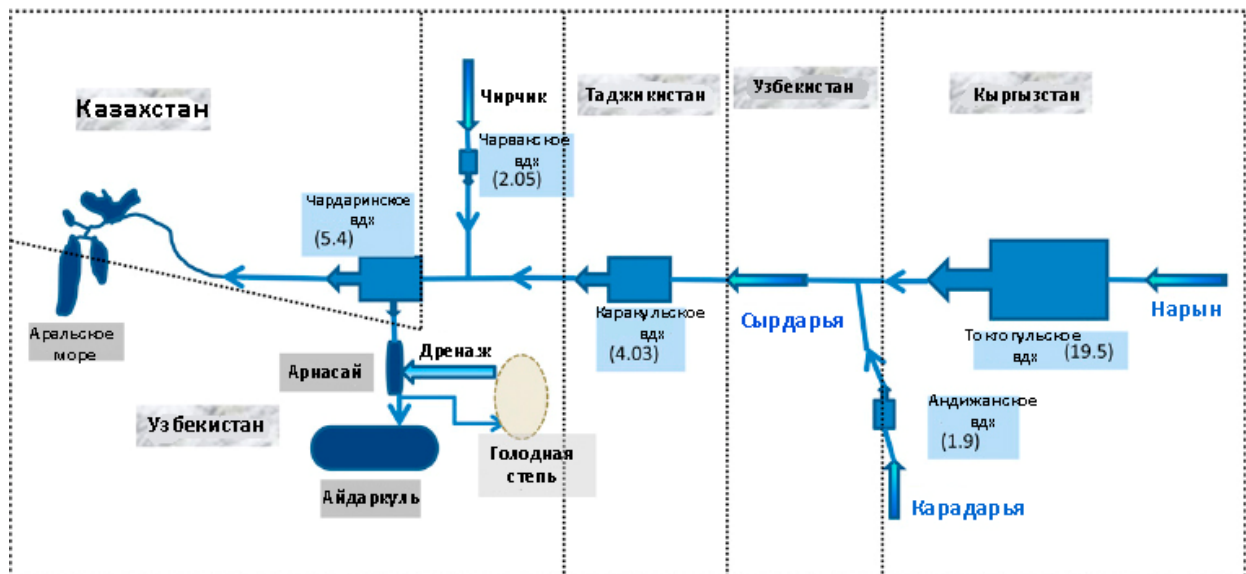
### **3. Водоохранилища на реке Сырдарья**

В данном разделе приведен пример использования спутниковых данных для получения потенциально полезной информации для целей управления водой в контексте трансграничного речного бассейна, где водохранилища играют решающую роль.

Онлайн база данных (Cawater: [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net)) с данными наблюдений по водохранилищам, включая объемы воды, приток и попуски, а также отчетами с метаданными и картами имела открытый доступ в период 2010-2011 гг. Теперь она доступна только для авторизованных пользователей, и мы не смогли загрузить данные наблюдений за последние несколько лет. Мы использовали эту базу данных для:

- сопоставления объемов воды с результатами, полученными из данных дистанционных наблюдений
- объединения данных наземных наблюдений со спутниковыми данными, чтобы продолжить временные ряды данных по изменению запасов воды в водохранилищах
- чтобы показать, что в случае отсутствия данных наземных наблюдений, можно использовать спутниковые данные, хотя точность может быть ниже





**Рис.2. Схематическая карта Нарын-Сырдарьинского каскада, включая пять крупных водохранилищ, три реки (Нарын, Карадарья и Сырдарья), лимиты по каждой стране, озера, поймы и степи (цифры, указанные в скобках после названия водохранилищ, означают общую емкость каждого из них)**

### 3.1. Общая информация

Река Сырдарья расположена в Центральной Азии и относится к бассейну Аральского моря (рис.2). Она питается из двух источников, в горах Тянь-Шань и Памир на территории Кыргызстана (реки Нарын и Карадарья). Обе реки сливаются и образуют Сырдарью на территории Узбекистана между Токтогульским и Каракульским водохранилищами. Общая водосборная площадь этой реки составляет 485 тыс. км<sup>2</sup>, а ее протяженность от точки слияния Нарына и Карадарьи до Аральского моря составляет 2337 км. В среднем течении река пересекает степь и впадает в Аральское море. Сырдарья, которая до 1991 года, находилась на территории Советского Союза, теперь разделяется четырьмя независимыми государствами – Кыргызстаном, Узбекистаном, Таджикистаном и Казахстаном.

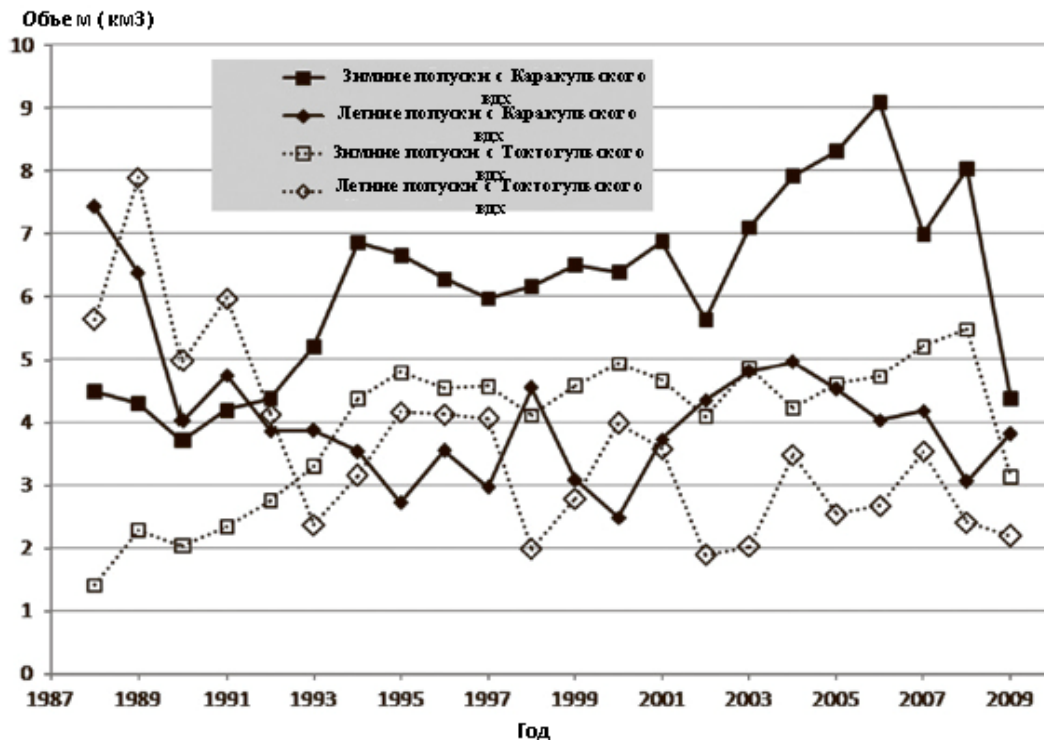
Поверхностный сток Сырдарьи составляет в целом около 41 км<sup>3</sup>/год, со средним значением 38 км<sup>3</sup>/год от источников до Чардарьинского водохранилища (рис.2). Ее сток практически полностью зарегулирован рядом водохранилищ – от Токтогульского в Кыргызстане до Чардарьинского в Казахстане и по ее притокам, рекам Чирчик и Карадарья (рис.2). В 20-м веке площадь орошаемых земель выросла на два порядка вследствие политики Советского Союза по экономическому развитию отдаленных степей Центральной Азии в низовьях (Micklin 1988, Cretaux et al 2013). На протяжении 1000 км между Токтогульским и Чардарьинским водохранилищами

Нарын-Сырдарьинский каскад (НСК) включает три других основных водохранилища (Каракульское, Андижанское и Чарвакское) (рис.2). Токтогульское водохранилище является главным регулятором НСК по двум причинам: оно имеет самую большую емкость и расположено в верхней части НСК.

Когда были построены водохранилища (в период между 1930 и 1970 гг.), их роль заключалась в обеспечении сброса большей части воды во время вегетационного периода (с апреля по сентябрь) для целей орошения и в аккумуляции воды в осенние и зимние месяцы. Однако вследствие климатических условий районов, которые пересекает река (холодные и дождливые зимой в верхней части и теплые и аридные в низовьях), крупные потребители воды, находящиеся в нижнем течении, должны были обеспечиваться водой в летнее время, тогда как республики верхнего течения нуждались в попусках воды для выработки электроэнергии зимой. Поэтому, для компенсации того факта, что республики в верхнем течении (Кыргызстан и Таджикистан) не могли использовать воду, накапливаемую в Токтогульском и Каракульском водохранилищах для выработки электроэнергии, их энергоснабжение обеспечивалось за счет поставок газа и нефти (имеющихся в избытке в республиках нижнего течения). С распадом Советского Союза в 1991 году река Сырдарья стала трансграничной и привнесла новые проблемы в управление водой. В 1992 году страны договорились не менять лимиты водопользования, но при этом жесткой резолюции по компенсации энергопотерь зимой странам верхнего течения принято не было (Weinthal 2006). Эти лимиты были поставлены под сомнение Кыргызстаном, который не мог позволить себе хранить воду в Токтогульском водохранилище зимой. Как следствие, зимой 1992-1993 гг. попуски воды из водохранилища стали расти. С 1987 по 1995 гг. зимние попуски выросли с 1-2 до 4-5 км<sup>3</sup>, а летние попуски уменьшились с 6-8 до 2-4 км<sup>3</sup> (рис.3). Аналогичное решение принял Таджикистан по Каракульскому водохранилищу, в котором не могли накапливаться большие объемы воды в результате зимних попусков из Токтогула. Сброс с Токтогульского водохранилища и приток к Каракульскому водохранилищу сильно коррелируют (рис.4), это отображает тот факт, что Каракульское водохранилище выступает больше как транзитная зона для воды, поступающей из верхней части бассейна, чем емкость для аккумуляции воды. Режим работы Чардарьинского водохранилища тоже должен был адаптироваться к значительному росту притока воды зимой в девяностые годы.

Воздействие на страны нижнего течения проявлялось в: 1) недостаточной водообеспеченности сектора орошения, 2) зимних подтоплениях в Арнасайской впадине на территории Узбекистана и в низовьях Сырдарьи из-за непривычных попусков из Чардары.

Краткое рассмотрение Чардарьинско-Арнасайско-Айдаркульской системы может помочь лучше понять, как на регулирование всего бассейна влияет использование Токтогула для выработки гидроэлектроэнергии в противовес его прежней роли регулятора стока для целей орошения.

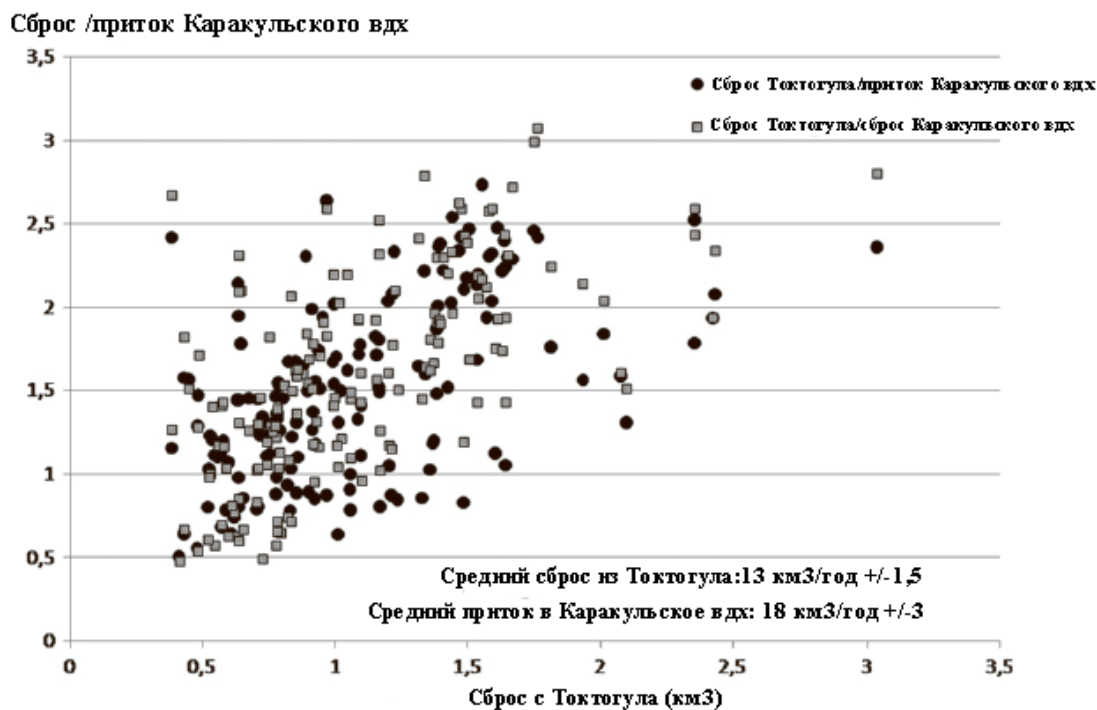


**Рис.3. Месячный сброс воды зимой (январь-март) и летом (июнь-август) по Токтогульскому и Каракульскому водохранилищам (источник данных: База данных Sawater)**

В 1964 году Чардарьинское водохранилище начало работать в поддержку орошения в Казахстане с дополнительными попусками в Арнасайскую впадину (рис.2 и Rodina 2010). В начале 90-х годов имело место увеличение попусков из Чардары в Арнасайскую впадину. Данные по месячным объемам попусков воды в Арнасай были получены из [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net). Эти данные показали, что в 1994 году более 9 км<sup>3</sup> было отведено таким путем и еще 5 км<sup>3</sup> в 2003 году. Мы использовали данные по попускам из Чардары в сочетании с данными измерений уровня и поверхности воды Айдаркульского озера на основе [www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net), спутниковой альтиметрии и снимков (раздел 3.2) для расчета этого дополнительного вклада:

$$C = R - \Delta V \quad (4)$$

где  $C$  – сумма дополнительного вклада ( $E-P$  – дренажный сток в Арнасайскую пойму),  $R$  – попуск из Чардары в Арнасайскую пойму, а  $\Delta V$  – изменение объема воды, заданное уравнением (1).

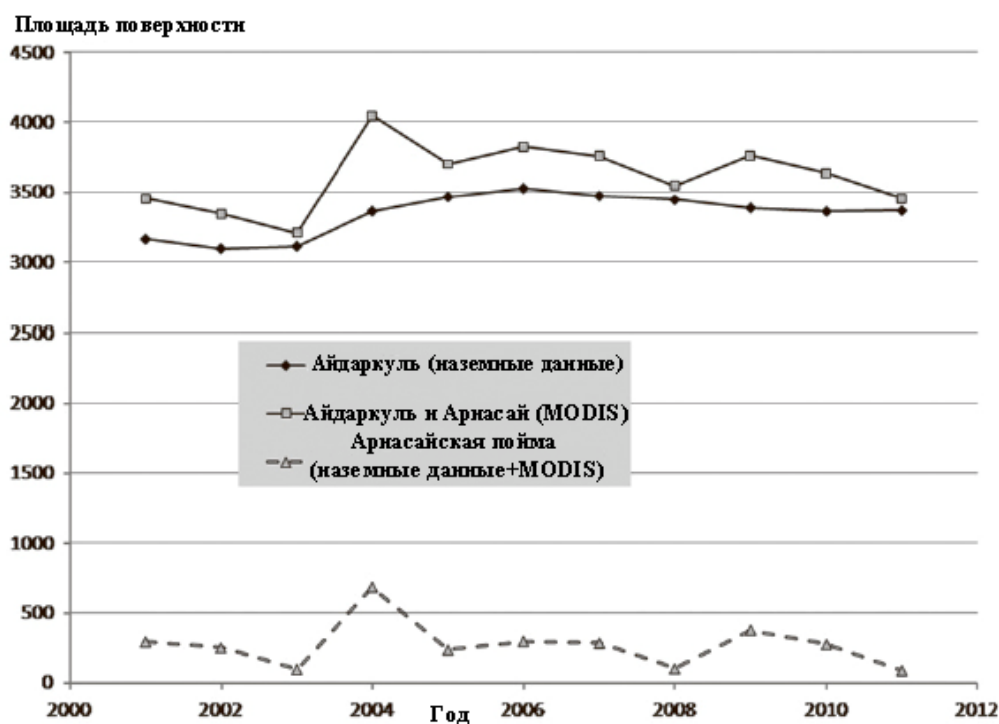


**Рис.4.** Диаграмма разброса месячных объемов притока и сброса с Каракульского водохранилища, в зависимости от сброса с Токтогула (источник данных: База данных Sawater)

В настоящее время, озеро Айдаркуль покрывает от 3000 до 4000 км<sup>3</sup> (рис.5), что делает его вторым по площади водоемом Центральной Азии после Аральского моря. Следует отметить, что полярные приоритеты каждой из стран бассейна Сырдарьи привели их к заключению нового соглашения (в 1998 году) для более эффективного управления трансграничными водными ресурсами. Тем не менее, зимние попуски воды из Токтогульского водохранилища постоянно повышались до 2008 года (рис.3). Объем воды в озере Айдаркуль в среднем упал примерно на 4 км<sup>3</sup> по сравнению с предыдущей зимой, когда наблюдался максимальный объем за весь период измерений (рис.10). Кроме того, в Токтогуле в 2008 году был достигнут самый низкий уровень этого периода измерений. Как следствие, зимние попуски как из Токтогульского, так и Каракульского водохранилищ в 2009 году были намного ниже, чем в прошлые годы (рис.3). При этом попуски воды в 2008 году из Токтогульского и Каракульского водохранилищ не достигли Казахстана, поскольку они были перехвачены Узбекистаном для обеспечения им своих собственных потребностей (Libert et al 2008). При

максимуме в 2008 году, объем воды в Токтогульском водохранилище почти совпадал с самым низким уровнем, достигнутым в летнее время в прошлые десять лет (рис.10).

Очевидно, что постоянные переговоры между четырьмя странами не смягчили разногласий по приоритетам использования водных ресурсов Сырдарьи. Один из источников споров исходит из сдержанности в отношении обмена достоверной информацией о точном рабочем режиме водохранилищ, с одной стороны, и потребностей и использовании воды для орошения, с другой стороны. В следующем разделе мы покажем, как отдельные наборы данных на основе спутниковых данных дистанционных измерений могут быть использованы как инструмент построения доверия между странами и обеспечения взаимного соблюдения обязательства, подписанного всеми странами.



**Рис.5. Месячные значения площади водной поверхности на основе наземных данных (источник: База данных Sawater) и снимков MODIS (обработанных в Legos) для озера Айдаркуль и Арнасайской впадины**

### **3.2. Что мы можем узнать из спутниковых дистанционных измерений об управлении водой Сырдарьи?**

Мы использовали информацию из базы данных Sawater для расчета гипсометрической зависимости между отметками уровня воды и объемом

воды для каждого водохранилища. Sawater дает только объемы воды, а отметки уровня воды были получены из данных спутниковой альтиметрии.

База данных Sawater также позволила нам составить балансы воды для некоторых водохранилищ и сопоставить изменения поверхности воды, наблюдаемые по MODIS в пойменных зонах Арнася, с данными наблюдений из базы данных Sawater. Второй целью было использование гипсометрии для реконструкции временных рядов параметров.

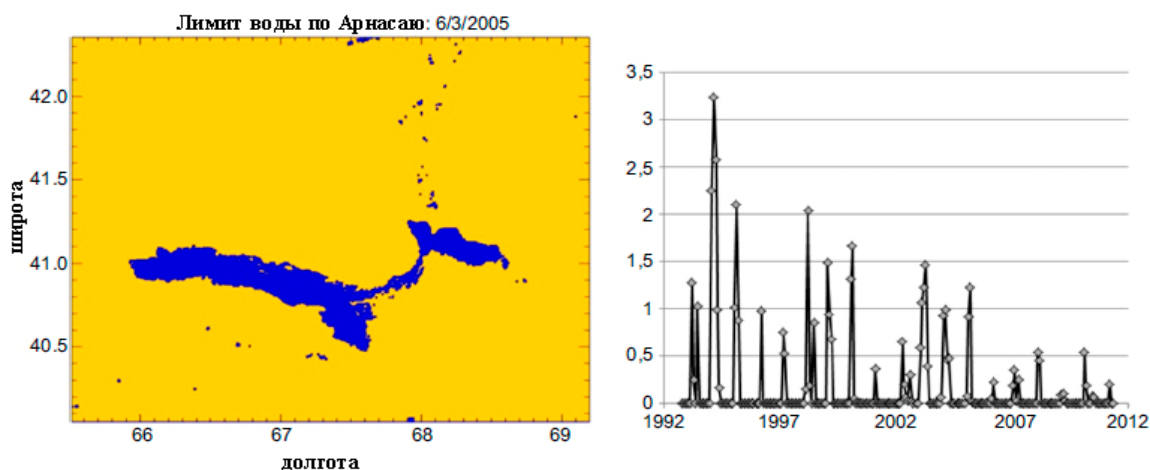
Эти сравнительные оценки позволяют определить величину погрешности спутниковых продуктов. На рис.6 показано, например, что по озеру Айдаркуль (из Sawater также были взяты отметки уровня по этому озеру) погрешность альтиметрии составляет 12 см. Помимо озера Айдаркуль, есть данные альтиметрии (иногда от разных миссий) по четырем из пяти основных водохранилищ каскада НСК: Чарвакскому (здесь не приводится), Каракульскому, Токтогульскому и Чардарьинскому.



**Рис.6. Изменения отметок уровня воды в озере Айдаркуль, полученные с помощью измерений радарной альтиметрии на альтиметрах ENVISAT и SARAL/AltiKa (даты измерений – средние даты четырех пролетов каждые 35 дней) и наземных данных на даты минимального и максимального уровня каждого года (из базы данных Sawater)**

Например, уровень воды в Чардарьинском водохранилище за период более чем 20 лет рассчитывается из комбинации T/P, ENVISAT, JASON-2 и теперь SARAL. Данные наземных наблюдений по изменениям запасов воды в этом водохранилище с 1993 по 2000 гг позволяют рассчитать гипсометрию  $V(L)$ , поэтому динамика изменений запасов может быть определена вплоть до 2014 года (рис.8).

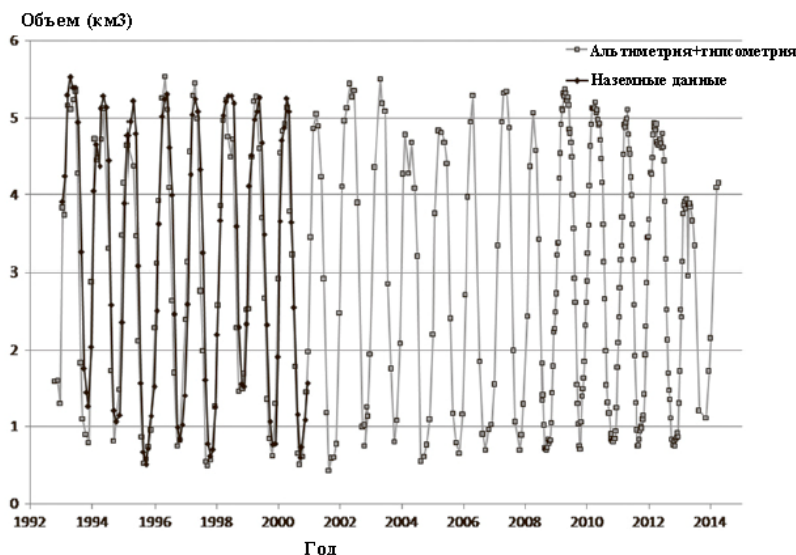
Мы также рассчитали колебания запасов воды в Чардарьинском и Токтогульском водохранилищах только с использованием спутниковых данных: альтиметрия и снимки Modis и Landsat. Используя отметки уровня воды и площади водной поверхности мы рассчитали гипсометрию  $A(L)$ , а затем с помощью уравнения (1) мы рассчитали колебания объемов. Эти оценки (альтиметрия+наблюдения, альтиметрия+снимки) были сопоставлены с данными наземных наблюдений и были получены средне-квадратические отклонения  $0,6 \text{ км}^3$  по Чардаре и  $0,2 \text{ км}^3$  по Токтогулу, что незначительно (2-4 %) при сравнении со среднегодовыми колебаниями объема.



**Рис. 7. Определение водных поверхностей из снимка MODIS Айдаро-Арнасай-Чардаринской системы (6 марта 2005 г.) и месячные попуски воды (в  $\text{км}^3$ ) из Чардарьинского водохранилища в Арнасай, с 1992 по 2011 гг. (данные из Sawater)**

На рис.7 приведены результаты анализа снимков Modis по снимку всей Айдаро-Арнасай-Чардаринской системы, сделанному в марте 2005 года. Попуски воды из Чардарьинского водохранилища в Арнасай в 2005 году составили около  $2 \text{ км}^3$ , в основном в зимнее время (февраль-март). Мы видим, что эти попуски воды заполняют Арнасайскую пойму и затем замыкающее озеро Айдаркуль. Использование изменений в площади поверхности озера Айдаркуль (данные наземных наблюдений из Sawater

на каждую дату временных рядов данных измерений радарной альтиметрии: рис.6) позволяет рассчитать поверхность Арнасайской поймы, год за годом, до начала попусков из Чардарьинского водохранилища.



**Рис.8. Чардара: месячные значения объема воды по наземным данным (база данных Sawater) и данным радарной альтиметрии, с использованием уточненной зависимости по классическому обратному методу:  $V = 0,03\ 404L^2 - 163\ 324L + 1959,21$  и эквивалентные изменения объема по MODIS и данным радарной альтиметрии с использованием гипсометрии:  $A = 74,853L - 181\ 010$  и уравнения (1).**

Для озера Айдаркуль, наземные данные площади поверхности и измерения радарной альтиметрии по отметкам воды позволяют рассчитать гипсометрию этого озера:

$$A(L) = 160.2698 * L - 36031.9. \quad (5)$$

С помощью спутниковой альтиметрии и ур-ий (1) и (5) для оценки запасов воды в озере Айдаркуль (рис.6), мы определили, что в период с 2011 по 2013 гг. это озеро потеряло  $7,8\ \text{км}^3$  и затем еще  $1,9\ \text{км}^3$  в 2013 году. Без наличия наземных данных по всему региону, теперь, тем не менее, возможно отследить эти параметры ( $L$ ,  $A$  и  $V$ ) по озеру Айдаркуль в результате измерений альтиметра SARAL/AltiKa, как видно на рис.6, и водную поверхность Арнасайской впадины.



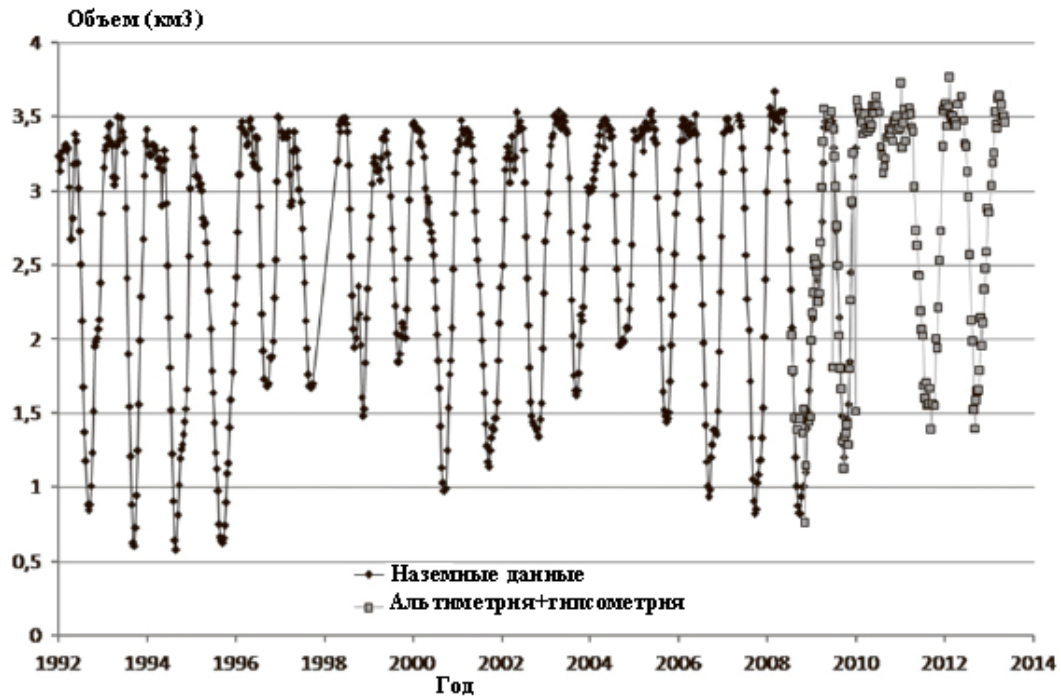


Рис. 9. Каракульское водохранилище: месячные изменения объема воды по наземным данным (база данных Sawater) и данным радарной альтиметрии с использованием зависимости  $V = 0,014\ 73\ L^2 - 9,73L + 1606,1$

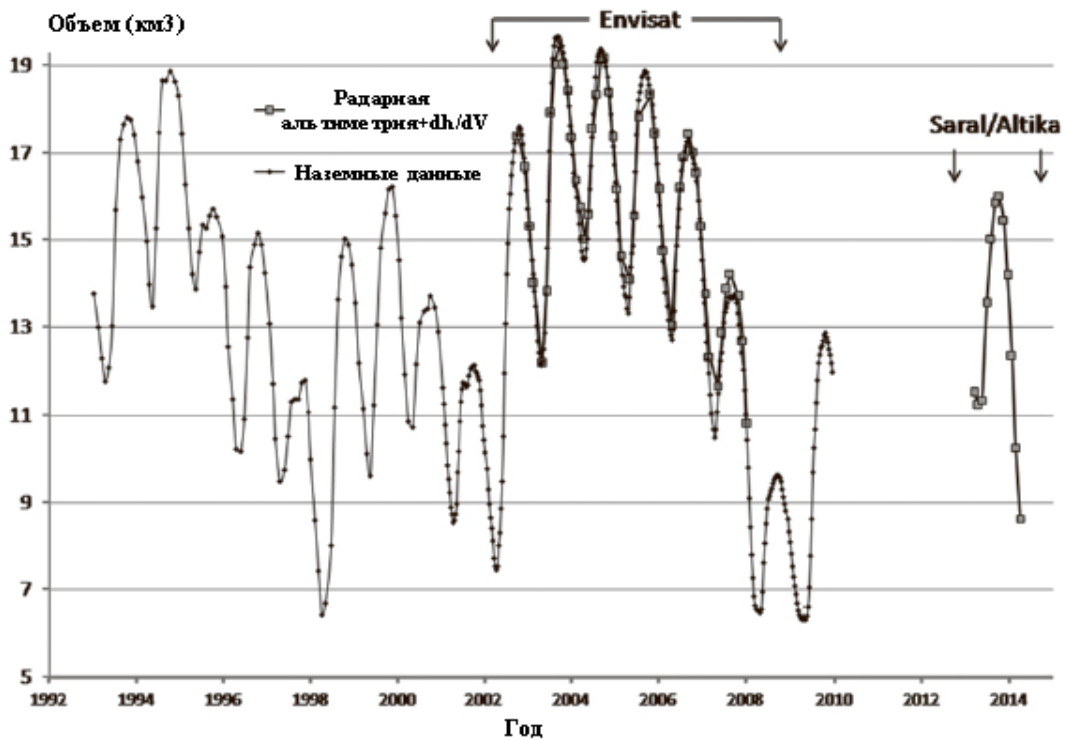


Рис.10. Токтогул: месячные изменения объема воды по наземным данным (база данных Sawater) и данным радарной альтиметрии с использованием зависимости  $V = 0,238\ 37L + 195,583$

Поднимаясь к Каракульскому (с JASON-2) и Токтогульскому (с ENVISAT и SARAL/AltiKa) водохранилищам (рис. 9-10), можно также рассчитать колебания запасов воды. К сожалению, мы не располагаем ни достоверными данными наземных наблюдений, ни данными измерений радарной альтиметрии по Токтогульскому водохранилищу в 2010-2012 гг., но в марте 2013 года (первые измерения SARAL/AltiKa) минимальный запас воды в водохранилище после зимних попусков уже оказался намного выше, чем максимум, достигнутый в 2008 году, и лишь немного ниже максимума 2009 года. Это показывает, что попуски из Токтогула в 2010 г. были слишком малы для повторного заполнения Каракульского водохранилища, и объясняет, почему попуски воды из Каракульского водохранилища были скорее ниже, чем когда оно получают большие объемы воды из Токтогула (рис. 3-4).

#### 4. Перспективы и заключение

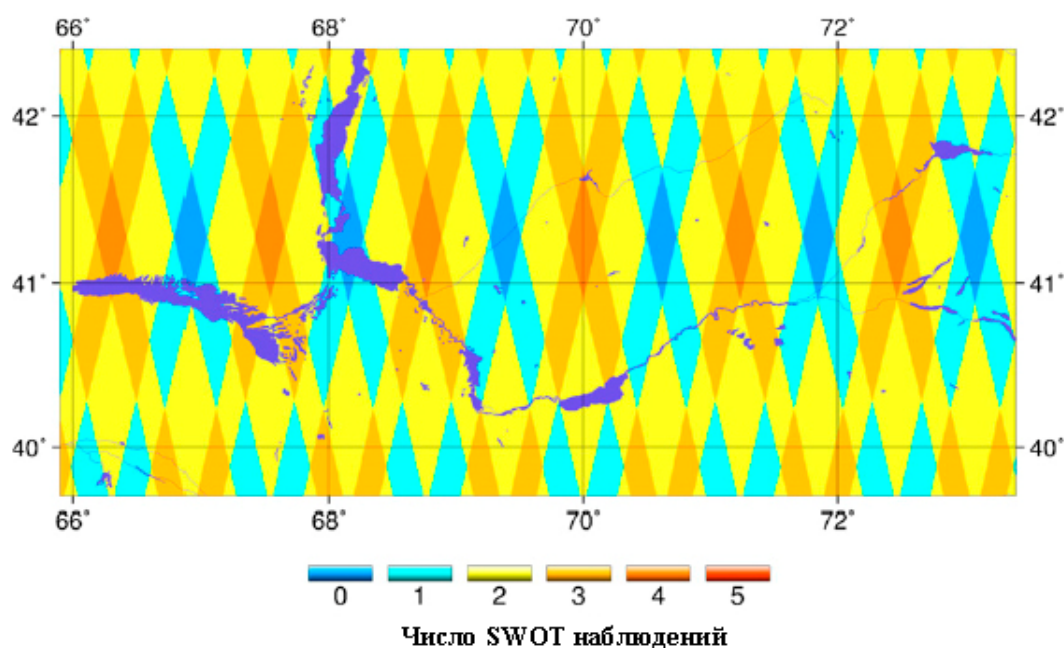
На глобальном уровне, оценка суммарных изменений запасов воды по всем озерам и водохранилищам остается сложной задачей и может быть сделана лишь с огромной неопределенностью (Biancamaria et al 2010).

На региональном уровне, спутниковые измерения с помощью спутниковых надирных альтиметров обеспечивают дополнительную информацию и альтернативы наземным измерениям, как показано по бассейну реки Сырдарья. В 2015 году четыре надирных альтиметра (S3A, S3B, JASON-3 and SARAL/AltiKa) будут запущены в одно и то же время. Инструменты на борту этих спутников имеют разные характеристики по зоне охвата: альтиметр JASON-3 такие же, как и JASON-2 с зоной охвата около 300 км<sup>2</sup>, а для SARAL/AltiKa она сокращена в 2-3 раза, позволяя делать более лучший выбор измерений над малыми объектами, такими, как реки и водохранилища. Планируется, что бортовые альтиметры S3A и S3B будут работать в режиме SAR в Ku-диапазоне. Это позволит получить коэффициент, изменяющийся в диапазоне от 10 до 50 с позиции зоны охвата по сравнению с классическим режимом альтиметрии LRM.

В 2018-2019 гг. стартует другая миссия - JASON Continuity of Service (JASON-CS) – на той же орбите, что и JASON-3. Если JASON-3 будет еще работать, он будет переведен на новую орбиту, называемую сдвинутой орбитой (трасса орбиты по долготе сдвинута на половину от своей исходной орбиты), что удвоит охват обоих спутников. Зона охвата будет такой же, как и у JASON-3 (300 км<sup>2</sup>).

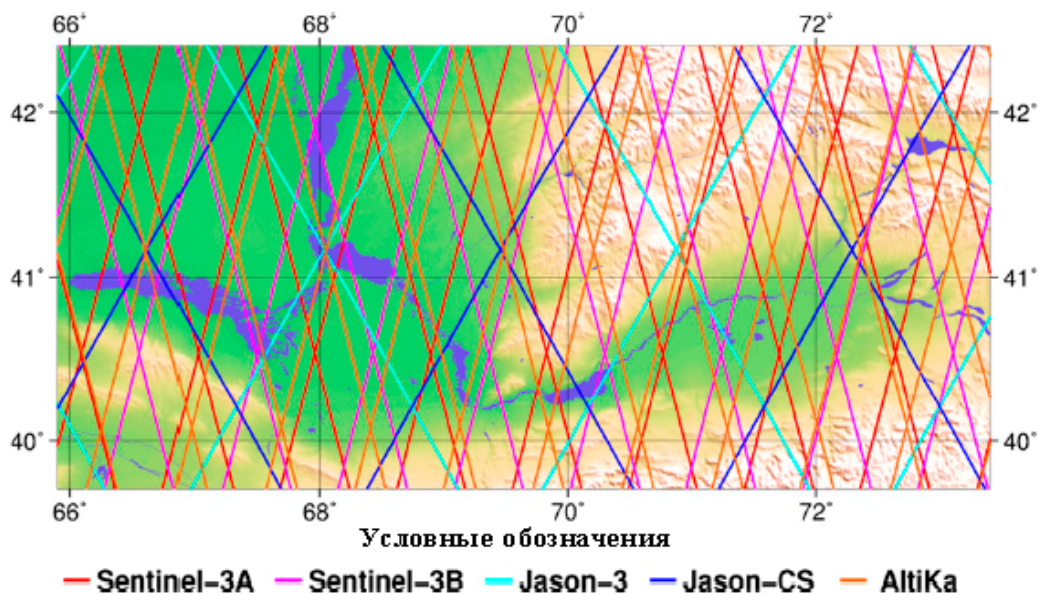
Эта спутниковая группировка обеспечит густую сеть мониторинга вдоль НСК (рис.12) с увеличенным временем замера водохранилищ, за которыми ведется наблюдение. Зная точные параметры орбиты каждой из

этих миссий, было возможно спрогнозировать временной охват НСК (табл.2, в которой показано, число траекторий и дней между двумя последовательными пролетами над каждым водохранилищем), когда группировка из пяти надирных альтиметров будет на орбите и позже, когда будет запущен SWOT. Наличие разных спутников также предотвратит ошибочные измерения с одного из них.



**Рис.11. Карта НСК с планируемыми маршрутами миссии SWOT каждые 21 дня (орбитальный цикл)**

Для улучшения пространственной выборки и преодоления ограничений, присущих измерениям в надире, потребуется двухмерная карта отметок воды (поверхность и отметки уровня воды в одно и то же время). Вот почему Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), Национальный центр космических исследований (CNES), а также космические агентства Канады и Великобритании совместно разрабатывают будущую миссию SWOT (Rodríguez 2012). Она специально предназначена для ведения наблюдений, на глобальном уровне, за изменениями запасов поверхностных вод и стока рек в течение условного срока службы в 3 года с момента запуска в 2020 году.



**Рис.12. Карта НСК с планируемыми трассами пяти альтиметров: JASON-3, JASON-CS, S3A, S3B и SARAL.**

**Координаты трасс были рассчитаны из орбитальных элементов спутников. JASON-3 и JASON-Cs помещены на сдвинутую орбиту**

Основной полетной аппаратурой SWOT будет радарный интерферометр Ка-диапазона, обеспечивающий снимки отметок уровня воды по двум 50-км полосам захвата, с каждой стороны спутника. Эти две полосы захвата будут разделяться 20-км полосой без наблюдений, за исключением области вдоль трассы дополнительного альтиметра в надире. SWOT будет вести наблюдения за реками шириной более 100 м (с целью 50 м), озерами и водохранилищами площадью более 250 м × 250 м (с целью 100 м × 100 м). Орбита SWOT находится на высоте 891 км и имеет 20,86-ти дневный период повторения и наклон 77,6°. На рис.11 показано число наблюдений SWOT за орбитальный период повторения над верхней и средней частью водосборного бассейна Сырдарьи. Из-за 20-км пробелов в надире, некоторые места никогда не попадут под наблюдения, но, фактически, большая часть бассейна будет отслеживаться (небольшие водохранилища, поймы, реки) от 1 до 4 раз за 21-ти дневный период повторения.

Таблица 2

**Количество трасс и период обращения (количество дней между повторными пролетами) по водохранилищам для разных сценариев спутниковой группировки.**

**(1) Текущая ситуация с SARAL/AltiKa и JASON-2, (2) ситуация в 2017г. с JASON-CS, JASON-3, S3A, S3B и SARAL/AltiKa, (3) комбинация сценария 2 и SWOT.**

Водохранилище	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Токтогульское	1/35	3/8	4/7
Чардарьинское	4/5	6/4	11/2
Каракульское	1/10	5/4	11/2
Чарвакское	1/35	1/35	4/7
Андижанское	0/-	0/-	3/7
Айдаркульское	4/8	12/2	29/<1

Ожидаемая степень точности миссии SWOT (Rodríguez 2012) определяется тем, что уклон реки будет замеряться каждые 10 км по длине рек, которые шире 100 м, с точностью 1 см/км, позволяя вести мониторинг стока рек. Отметки воды озер, водохранилищ и пойм будет замеряться с 10 см точностью для площадей  $1000 \times 1000$  м ( $1 \text{ км}^2$ ), 20 см точностью для площади  $250 \text{ м} \times 250 \text{ м}$  ( $0,0625 \text{ км}^2$ ) и 45 см для площади  $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$  ( $0,01 \text{ км}^2$ ). Эта точность в пределах всего НСК предположительно будет достаточной для расчета гипсометрии всех водохранилищ ( $V(L)$  и  $A(L)$ ).

Начиная с сегодняшнего момента до запуска SWOT, потенциал мониторинга водохранилищ с помощью спутниковой радарной альтиметрии также будет улучшен (более высокая частота пролетов (таблица 2), охват целиком и повышенная точность - 10 см). Замеры Karin по реке также позволят обеспечить данные о речном стоке каждые 10 км и определить контуры каждого водоема. Это позволит контролировать приток и сбросы по каждому водохранилищу НСК. С этой уникальной миссией будет возможно предложить водникам и ученым этих стран независимую, надежную и точную систему измерений различных параметров, определяющих сток, накопление воды и использование воды по всему бассейну.

Плотины и водохранилища играют ключевую роль в управлении водой речными бассейнами (для целей орошения и гидроэнергетики), которые по своему характеру являются трансграничными. Эффективное управление водой трансграничных рек обычно зависит от принятия решений бассейновыми комитетами, которым необходимы системы наблюдений за

водными ресурсами и их изменениями во времени и пространстве. Эти наблюдения могут быть обеспечены с помощью хорошо спроектированных сетей гидропостов, однако из-за экономических сложностей или по политическим причинам может возникнуть недоверие между странами бассейна, при этом не всегда имеет место обмен данными.

В случае бассейна Сырдарьи три страны (Казахстан, Узбекистан и Таджикистан) зависят от решений, принимаемых Кыргызстаном в отношении верхнего бассейна и Токтогульского водохранилища. Отсутствие четкого соглашения между странами и противоположные цели в отношении использования водных ресурсов обусловили низкую эффективность управления водой. Решение, принятое в 1993 году Кыргызстаном по использованию Токтогульского водохранилища в качестве источника выработки электроэнергии зимой, отрицательно сказалось на странах нижнего течения. Попуски из Токтогульского водохранилища должны были осуществляться в летнее время для целей орошения. Страны нижнего течения вынуждены были преодолевать последствия решения Кыргызстана по пускам воды из Токтогула в зимнее время. В связи с этим, общая информационная система является важным инструментом для руководителей водного хозяйства.

Таким образом, спутники дистанционного зондирования могут дать независимые оценки водопользования и их последствий по бассейну Сырдарьи. В сочетании с изменениями площади водной поверхности водохранилищ или пойм по снимкам, измерения отметок уровня воды водохранилищ НСК, полученных с помощью радарной альтиметрии, позволяют рассчитать изменения в запасах воды. Было возможно восстановить ряды данных по динамике запасов воды за период более чем 20 лет по основным водохранилищам НСК из наборов данных от нескольких спутников, не смотря на то, что данные наземных наблюдений в настоящее время недоступны. Мы показали, что спутниковые данные могут быть использованы в дополнение к наземным данным, и, в случае необходимости, даже полностью заменять их. В этой связи мы подсчитали, что погрешность изменения запасов воды, полученных из спутниковых данных, низкая по сравнению с данными наземных наблюдений в случае бассейна Сырдарьи.

### **Список литературы**

Abarca-del-Rio R, Crétaux J-F, Bergé-Nguyen Mand Maisongrande P 2012 Does the Titicaca Lake still control the

Poopo lake water levels? An investigation using satellite altimetry, and MODIS data (2000–2009) Remote Sens. Lett. 3 707–14

Abileah R, Vignudelli S and Scozzari A 2011 A completely remote sensing approach to monitoring reservoirs water volume Int. Water Technol. J. 1 63–77

Aires F, Papa F, Prigent C, Crétaux J-F and Bergé-Nguyen M 2014 Characterization and space/time downscaling 1 of the inundation extent over the Inner Niger Delta using GIEMS and MODIS data in preparation to the SWOT mission *J. Hydrometeorol.* 15 171–92

Arsen A, Crétaux J-F, Berge-Nguyen Mand Abarca-Del-Rio R 2014 Remote sensing-derived bathymetry of lake Poopó *Remote Sens.* 6 407–20

Arsen A, Crétaux J-F and Abarca-Del-Rio R 2015 Use of SARAL/AltiKa over mountainous lakes, intercomparison with Envisat mission *J. Adv. Space Res. Special issue on SARAL/AltiKa minor revision*

Biancamaria S, Andreadis KM, Durand M, Clark E A, Rodríguez E, Mognard NM, Alsdorf DE, Lettenmaier DP and Oudin Y 2010 Preliminary characterization of SWOT hydrology error budget and global capabilities *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 3 6–19

Biancamaria S, Hossein F and Lettenmeier DP 2011 Forecasting transboundary river elevation from space *Geophys. Res. Lett.* 38 L11401

Biemans H, Haddeland I, Kabat P, Ludwig F, Hutjes RWA, Heinke J, von Bloh Wand Gerten D 2011 Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20<sup>th</sup> century *Water Resour. Res.* 47 W03509

Birkett CM 1995 Contribution of TOPEX/POSEIDON to the global monitoring of climatically sensitive lakes *J. Geophys. Res.* 100 25179–204

Boschetti L, Flasse S P and Brivio P A 2004 Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: the Pareto boundary *Remote Sens. Environ.* 91 280–92

Calmant S, Seyler F and Crétaux J-F 2008 Monitoring continental surface waters by satellite altimetry *Surv. Geophys. Special issue on ‘Hydrology from Space’* 29 247–69

Chao B F, Wu Y H and Li Y S 2008 Impact of artificial reservoir water impoundment on global sea level *Science* 320 212–4

Clemens R S, Phinn S R, Murray NJ, Roelfsema C Mand Fuller R A 2012 Continental scale mapping of tidal flats across East Asia using the Landsat archive *Remote Sens.* 4 3417–26

Crétaux J-F and Birkett C 2006 Lake studies from satellite radar altimetry *C. R. Geosci.* 338 1098–112

Crétaux J F, Calmant S, Romanovski V, Shabunin A, Lyard F, Bergé-Nguyen M, Cazenave A, Hernandez F and Perosanz F 2009 An absolute calibration site for radar altimeters in the continental domain: lake Issykkul in Central Asia *J. Geod.* 83 723–35

Crétaux J-F, Letolle R and Bergé-Nguyen M 2013 History of Aral sea level variability and current scientific debates *Glob. Planet. Changes* 11 Special issue SI 99–113

Crétaux J-F et al 2011a SOLS: a lake database to monitor in near real time water level and storage variations from remote sensing data *J. Adv. Space Res.* 47 1497–507

Crétaux J-F et al 2011b Flood mapping inferred from remote sensing data *Int. Water Technol. J.* 1 48–62

Duan Z and Bastiaanssen WGM 2013 Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data *Remote Sens. Environ.* 134 403–16

Gao H, Birkett Cand Lettenmeir DP 2012 Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing *Water Resour. Res.* 48 W09504

GleditschNP and HegreH2000 Shared rivers and interstate conflict *Political Geography* 19 971–96

Hossain F, Siddique-E-Akbor AH, Mazumder LC, ShahNewaz SM, Biancamaria S, LeeHand ShumCK2014 Proof of concept of an altimeter-based river forecasting system for transboundary flow inside Bangladesh *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 7 587–601

Ji L, Zhang L and Wylie B 2009 Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference waterindex *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 75 1307–17

Libert B, Orolbaev E and Steklov Y 2008 Water and energy crisis in Central Asia *China Eurasia Forum Q6* 9–20

Liu Y, Song P, Peng J and Ye C2012 A physical explanation of the variation in threshold for delineating terrestrial water surfaces from multi-temporal images: effects of radiometric correction *Int. J. Remote Sens.* 33 5862–75

McFeeters S K1996 The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open waterfeatures *Int. J. Remote Sens.* 17 1425–32

Micklin P P 1988 Desiccation of the aral sea, a water management disaster in the Soviet Union *Science* 241 1170–6

Pedinotti V, Boone A, Decharme B, Crétaux J-F, Mognard N, Panthou G, Papa F and Tanimoun BA 2012 Evaluation of the ISBA-TRIP continental hydrologic system over the Niger Basin using in situ and satellite derived datasets *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16 1745–73

Ričko M, Birkett CM, Carton J A and Crétaux J-F 2012 Intercomparison and validation of continental water level products derived from satellite radar altimetry *J. Appl. Remote Sens.* 6 061710

Rodina K2010 They Aydar–Arnasay lakes system: formation, functions and future water management scenarios, Master of Science Thesis Central European University, Budapest

Rodríguez E 2012 Surface water and ocean topography mission (SWOT), science requirements document JPL document. ([http://swot.jpl.nasa.gov/files/swot/SWOT\\_science\\_reqs\\_release2\\_v1.14.pdf](http://swot.jpl.nasa.gov/files/swot/SWOT_science_reqs_release2_v1.14.pdf))

Song C, Huang B and Ke L 2013 Modeling and analysis of lake water storage changes on the Tibetan Plateau using multi-mission satellite data *Remote Sens. Environ.* 135 25–35

Sood A and Mathukumalli BKP 2011 Managing international river basins: review in India–Bangladesh transboundary water issues *Int. J. River Basin Manage.* 9 43–52

Weinthal E 2006 Water conflict and cooperation in Central Asia *Human Development Report 2006 UNDP*

Wolf A, Nathrius J, Danielson J, Ward B and Pender J 1999 International river basins of the world *Int. J. Water Resour. Dev.* 15 387–427

Xu H2006 Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery *Int. J. Remote Sens.* 27 3025–33



## Обнаружение водного стресса для сельхозкультур из дистанционных измерений с помощью алгоритма SSEBI-2: на примере Марокко

Якобс К., Роеринк Г., Хаммани А.<sup>2</sup>

### 3. Материалы и методы

#### Снимки MODIS

Всего 22 снимка MODIS для безоблачных условий за 2006 год было получено из LP DAAC (Распределенный архивный центр земельных процессов) EOS Data Gateway. Для данного исследования использовались данные Terra MODIS по суточной поверхностной температуре и отражающей способности поверхности соответственно с разрешениями 1 x 1 км и 500 x 500 м.

#### Алгоритм SSEBI-2

Алгоритм Упрощенного индекса баланса поверхностной энергии (SSEBI) (Roerink et al., 2000) был разработан для решения баланса поверхностной энергии с помощью методов дистанционного зондирования на пиксельной основе. Он задается формулой:

$$R_n = G_0 + H + \lambda E \quad (1)$$

где

$R_n$  – чистая радиация (ватт/м<sup>2</sup>)

$G_0$  – поток почвенного тепла (ватт/м<sup>2</sup>)

$H$  – явный поток тепла (ватт/м<sup>2</sup>)

$\lambda E$  – скрытый поток тепла (ватт/м<sup>2</sup>)

---

<sup>2</sup> Печатается с сокращениями. Перевод с английского. Источник: Crop water stress detection from remote sensing using the SSEBI-2 algorithm: A case study in Morocco. C. Jacobs, G.J. Roerink, Ali Hammani / [https://www.researchgate.net/publication/40101138\\_Crop\\_water\\_stress\\_detection\\_from\\_remote\\_sensing\\_using\\_the\\_SSEBI-2\\_algorithm\\_A\\_case\\_study\\_in\\_Morocco](https://www.researchgate.net/publication/40101138_Crop_water_stress_detection_from_remote_sensing_using_the_SSEBI-2_algorithm_A_case_study_in_Morocco)

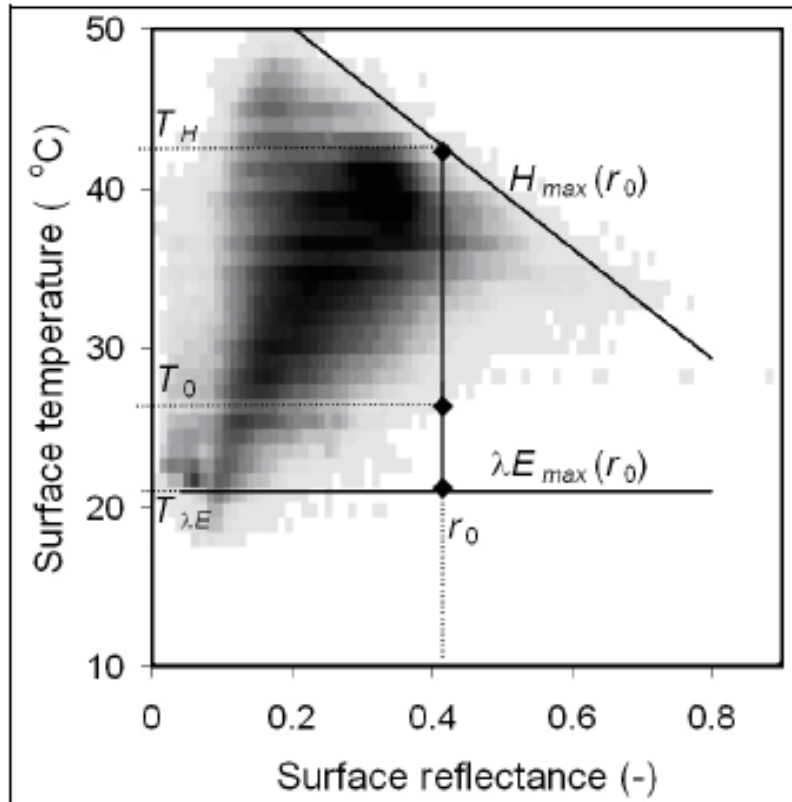
Для SSEBI требуется сканирование спектральной плотности энергетической яркости в ясных условиях в видимом, ближнем инфракрасном и тепловизионном и инфракрасном диапазоне для определения составляющих ее параметров: коэффициент отражения поверхности или отражающая способность поверхности, температура поверхности и индекс растительности. С помощью этих составляющих можно определить баланс энергии на поверхности.

Вначале чистая радиация вычисляется как остаточный член всех падающих и испускаемых коротковолновых и длинноволновых излучений. Второе, поток почвенного тепла определяется с помощью эмпирической зависимости характеристик растительности и поверхности. Явный и скрытый поток тепла не вычисляются как отдельные параметры, а как доля испарения,  $\Lambda$ , которая определяется как

$$\Lambda = \lambda E / (R_n - G_0) \quad (2)$$

По наблюдениям, поверхностная температура и отражающая способность территорий с постоянным атмосферным воздействием коррелируются и эти зависимости могут использоваться для определения эффективных свойств поверхности земли. Допуская, что глобальная радиация и температура воздуха постоянные, можно дать формальное объяснение наблюдаемой отражающей способности поверхности и температуры.

Модель SSEBI основывается на том принципе, что в зависимости от отражающая способность-температура можно выделить два граничных условия; одно для условий полностью увлажненной поверхности, другое для условий полностью сухой поверхности (рис. 3). Для условий полностью увлажненной поверхности вся имеющаяся энергия ( $R_n - G_0$ ) идет на процесс эвапотранспирации ( $\lambda E$ ) и ничего не идет на процесс нагрева поверхности ( $H$ ). Поэтому с повышением отражающей способности ожидается постоянная температура. Для полностью сухих территорий вся имеющаяся энергия идет на процесс нагрева поверхности и ничего не идет на процесс эвапотранспирации. Ожидается понижение поверхностной температуры при увеличении значений отражающей способности, поскольку повышенные значения отражающей способности приводят к понижению значений солнечной радиации и, тем самым, теперь меньше энергии доступно для процесса нагрева.



**Рис.3.** Схематическое представление зависимости между отражающей способностью поверхности и температурой вместе с основными принципами SSEBI

В случае, когда можно определить две зависимости между отражающей способностью и температурой для нулевой эвапотранспирации и потенциальной эвапотранспирации, SSEBI рассчитывает долю испарения следующим образом: Для каждого пикселя определяются отражающая способность поверхности  $r_0$  и поверхностная температура  $T_0$ ; где температура связана с почвенной влажностью и, тем самым, потоками. Доля испарения рассчитывается как отношение температур:

$$\Lambda = \frac{T_{dry} - T_0}{T_{dry} - T_{wet}} \left( = \frac{\lambda E}{R_n - G_0} \text{ в виде элементов баланса энергии} \right) \quad (3)$$

S (Simplified - упрощенный) в модели SSEBI означает случай, где предельные температуры  $T_{wet}$  и  $T_{dry}$  могут быть определены из самого снимка. Это возможно, когда атмосферные условия постоянны по всему снимку и по всему спектру отражения имеется достаточно влажных и сухих пикселей. Помните, что другая скорость ветра изменит значения пре-

дельных температур  $T_{wet}$  и  $T_{dry}$ , но пока есть влажные и сухие пиксели метод SSEBI будет работать.

До настоящего времени SSEBI применяется для разделения снимков дистанционных измерений, представляющих отдельные дни в течение сезона. Метод для интегрирования во времени снимков в постоянные временные ряды карт суточных ET отсутствует. SSEBI-2 – это новая, простая в применении процедура, которая осуществляет подобное интегрирование во времени. Вначале SSEBI-2 использует снимки дистанционного зондирования для получения карт альбедо поверхности, поверхностной температуры, доли испарения и излучательной способности. Следующий шаг – суточная интерполяция этих карт дистанционного зондирования, из которых вычисляется суточная эвапотранспирация (ETa). Так как доля испарения ведет себя как постоянная в течение суток, ETa рассчитывается как:

$$ETa = \Lambda Rn \quad (4)$$

Где суточная чистая радиация (Rn) вычисляется из данных дистанционного зондирования (альбедо, температура) и стандартных метеорологических измерений (солнечная радиация).

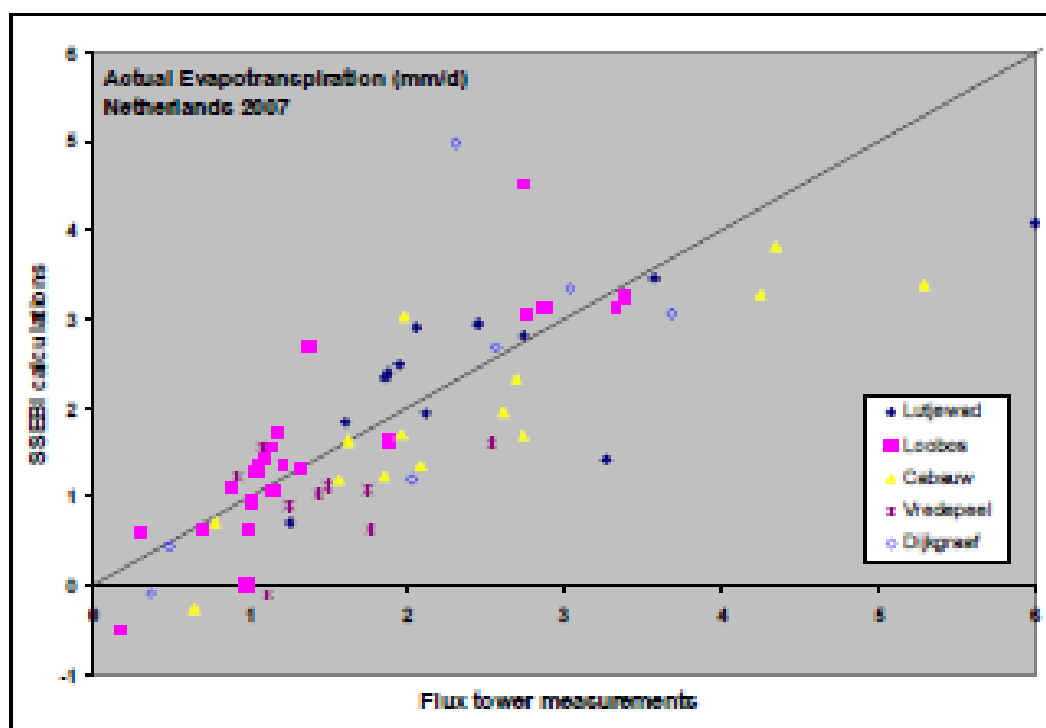


Рис.4. Валидация SSEBI-2 на основе сопоставления с измерениями потока

Этот подход позволяет проводить быструю оценку во времени и пространстве сезонного потребления воды для больших речных бассейнов или оросительных систем с минимальным объемом требуемых входных данных.

Метод SSEBI был проверен в более ранних исследованиях с заданной точностью в пределах 10%. Новый алгоритм SSEBI-2 проверен на достоверность – до настоящего момента времени – с использованием измерений потока приборами, установленными на метеорологической мачте, в Голландии (рис.4).

## **4. Результаты**

### **Карты E<sub>Ta</sub> и E<sub>Tr</sub>**

SSEBI-2 применялась для гидрологического года 2006 на основе 22 снимков MODIS. Результирующие карты E<sub>Ta</sub> и E<sub>Tr</sub> для Тадлы показаны как годовые общие значения на рис. 5

### **Сопоставление E<sub>Ta</sub>-E<sub>Tr</sub> в пространстве**

Отношение E<sub>Ta</sub> к E<sub>Tr</sub> можно использовать как показатель выявления областей с дефицитом воды. Обычно рекомендуется, чтобы это отношение не снижалось ниже 0.70 в течение года. Сравнивая по суб-периметрам можно увидеть, что территория Бен-Амира немного суше, чем остальные суб-периметры.

### **Сопоставление E<sub>Ta</sub>-E<sub>Tr</sub> во времени**

На рис.6 показано сопоставление во времени месячных значений E<sub>Ta</sub> и E<sub>Tr</sub> для Бен-Амира и Восточного Бени Мусса. Сопоставление указывает на наличие водного стресса для сельхозкультур по периметру Тадла в летние месяцы июнь, июль и август. Суб-периметр Бен-Амир показывает наиболее сильный стресс для культур летом по сравнению с суб-периметром Восточного Бени Мусса. Эта информация может использоваться для усовершенствования стратегий орошения или предложения альтернативных режимов выращивания сельхозкультур.

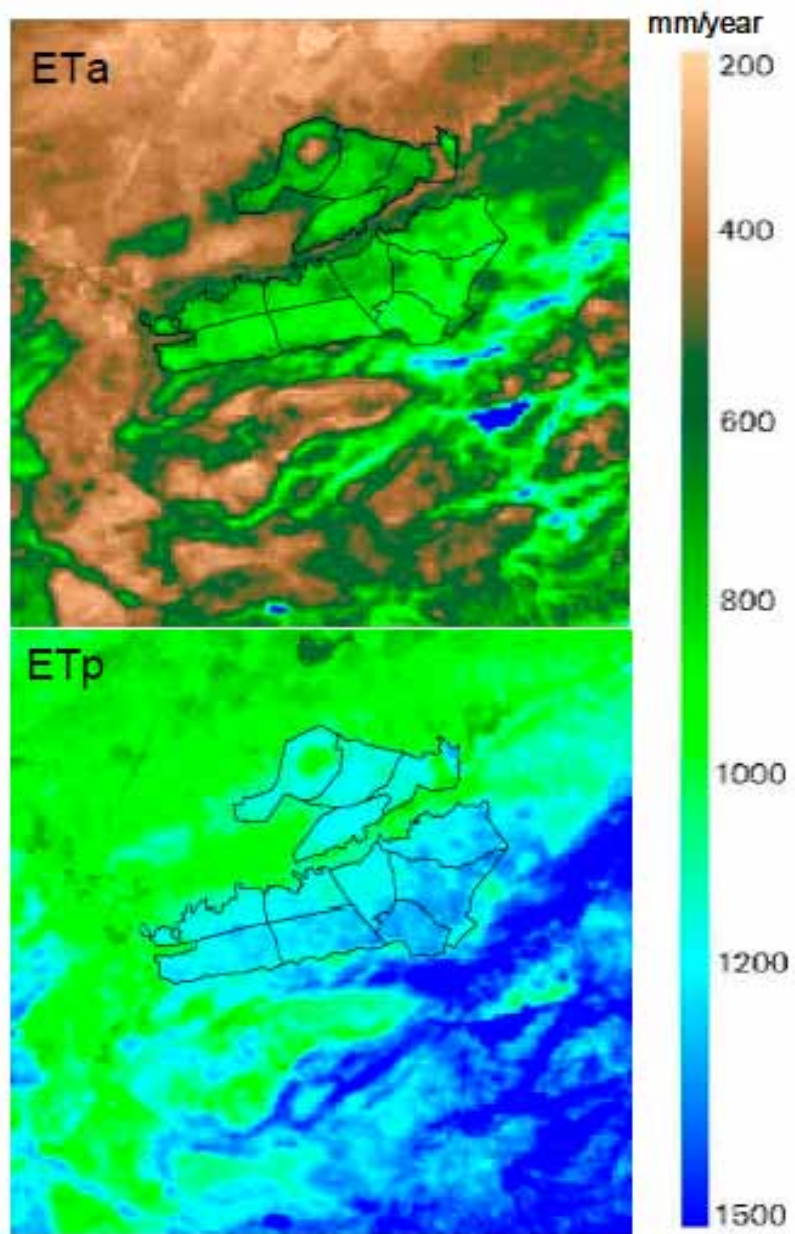
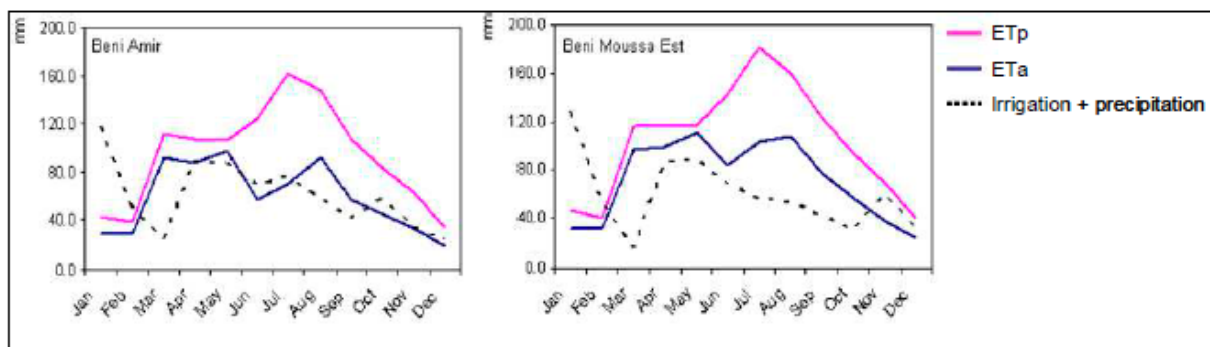


Рис.5. Пространственное представление годовых ETa и ETp, полученных в SSEBI-2, Таджа, 2006 г.

Таблица 1

Годовое отношение  $ET_a$  к  $ET_r$  для оросительных систем Тадлы

	Оросит. система (CGR), №	Отношение $ET_a/ET_r$
Бени-амир	1	0,59
	2	0,65
	3	0,60
	4	0,66
	среднее	0,62
Восточный Бени Мусса	5	0,72
	6	0,66
	7	0,69
	8	0,69
среднее	0,69	
Западный Бени Мусса	9	0,66
	10	0,66
	11	0,70
	12	0,69
среднее	0,68	



**Рис.6. Сопоставление  $ET_a$  и  $ET_r$  с располагаемыми водными ресурсами (орошение + осадки)**

Сопоставляя водопотребление с водообеспеченностью, видно, что больше воды уходит на эвапотранспирацию, чем доступно из оросительных каналов и атмосферных осадков. Поэтому очевидно, что используется другой источник воды, а именно грунтовые воды. Особенно, по-видимому, значительно использование грунтовых вод в Восточном Бени Мусса. В июле и августе почти в два раза больше воды было потреблено, по сравнению с доступным объемом, складывающимся из оросительной воды и осадков.

### **Валидация $E_{Ta}$ и $E_{Tr}$ , полученных по SSEBI-2**

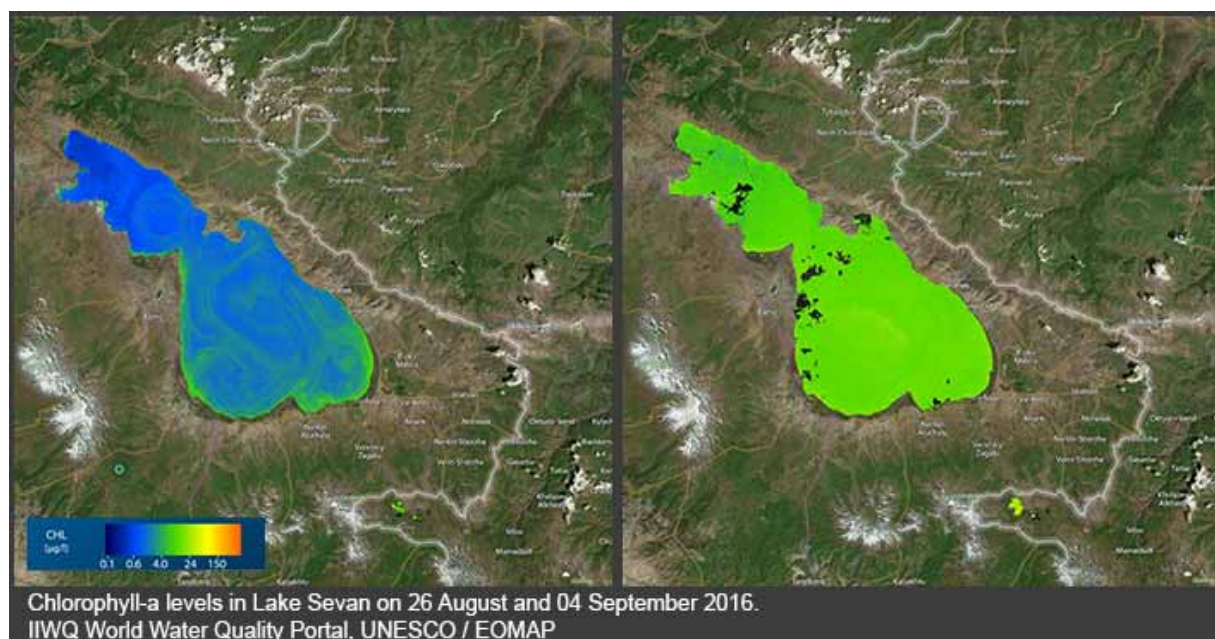
Значения потенциальной эвапотранспирации ( $E_{Tr}$ ), полученные из SSEBI-2, сопоставлялись со значениями  $E_{Tr}$ , полученными из агро-гидрологической модели CRIWAR, демонстрируя хорошую корреляцию. В настоящее время проводятся исследования для дальнейшей валидации значений фактической эвапотранспирации для региона Тадла, полученных с помощью SSEBI-2, на фоне локальных измерений потоков у поверхности.



## Новый Всемирный портал по качеству воды

Новый Всемирный портал по качеству воды, инициированный в рамках Международной гидрологической программы ЮНЕСКО (МГП), предоставляет информацию по качеству пресных вод на глобальном уровне на базе данных дистанционного зондирования. Качество воды влияет на здоровье человека, также как и на экосистемы, биологическое разнообразие, производство продовольствия и экономический рост.

Хотя улучшение качества воды по всему миру имеет существенное значение для устойчивого развития, надежных данных недостаточно, особенно в отдаленных регионах и развивающихся странах, где отсутствуют сети и возможности для мониторинга. Всемирный портал по качеству воды решает проблему расширения базы знаний и доступа к информации для улучшения понимания воздействия климатических и антропогенных изменений на водную безопасность. Он будет способствовать принятию научно-обоснованных решений в сфере управления водой и поддержит усилия государств-членов по достижению Цели устойчивого развития по обеспечению доступа к водоснабжению и санитарии (ЦУР6), а также других целей и задач, непосредственно связанных с качеством и загрязнением воды.



Портал, который был создан в рамках Международной инициативы ЮНЕСКО-МГП по качеству воды (МИКВ), обеспечивает данные по пяти основным показателям качества воды: мутность и распределение наносов, хлорофилл-а, вредоносное цветение водорослей (ВЦВ), поглощение органического вещества и температура поверхности воды. Эти показатели также дают информацию о воздействии других отраслей и видов землепользования, таких, как городские территории, применение удобрений в сельском хозяйстве, изменение климата или работа плотин и водохранилищ. К примеру, полезно отследить изменения мутности (степень обратного рассеивания света за счет частиц, присутствующих в воде) при мониторинге седиментационных шлейфов от выемки грунта с образованием отвала. Хлорофилл-а представляет собой пигмент, обнаруживаемый в клетках фитопланктона, а показатель ВЦВ показывает возможные участки, затронутые вредоносным цветением водорослей из-за цианобактерий, содержащих цианофицин. Портал использует оптические данные со спутников Landsat и Sentinel-2, которые находятся в открытом доступе, а также вычислительную систему, разработанную компанией «ЕОМАР» (Германия).

На демонстрационном этапе Всемирный портал по качеству воды обеспечивает временные ряды данных по семи речным бассейнам и поверхностным водам всех регионов мира, мониторингу этих пяти показателей с января 2016 года. В число демонстрационных бассейнов и регионов входят: озеро Севан в высокогорьях Кавказа (Армения и Азербайджан); водохранилище Итайпу и бассейн реки Парана (Аргентина, Бразилия и Парагвай); Мекленбургское озерное плато (Германия); река Нил и Асуанское водохранилище (Египет и Судан); дельта Меконга (Вьетнам); озера Флориды (США); бассейн реки Замбези (Замбия и Зимбабве). Портал также содержит учебные материалы в поддержку развития потенциала и повышения информированности среди всех заинтересованных сторон, включая водников, лиц, определяющих политику, а также широкую общественность.

По случаю запуска Портала, 22-23 января 2018 года была организована экспертная встреча по «Мониторингу качества воды на основе наблюдений за поверхностью Земли и спутниковых данных» с целью изучения потенциала наблюдений за поверхностью Земли для заполнения пробелов в глобальных данных по качеству воды. Из числа представленных организаций Германский аэрокосмический центр, Японское агентство аэрокосмических исследований и Европейское космическое агентство выразили свою заинтересованность в сотрудничестве с МИКВ ЮНЕСКО-МГП для дальнейшего развития портала. Представители этих организаций и несколько государств-членов отметили роль портала в продвижении использования научных данных для выработки политики и в повышении осве-

домленности о значении спутниковых данных для управления и мониторинга водных ресурсов.

В штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже (22-26 января) также проходила выставка “Качество воды из космоса – очаровывающие снимки поверхности Земли”, чтобы отметить запуск Портала. На выставке представлены результаты демонстрационной фазы и коллекция снимков наблюдений за поверхностью Земли, отражающих состояние качества воды в крупных реках, озерах, водоемах и прибрежных дельтах по всему миру. Здесь подчеркивается важность поддержания здоровых экосистем и демонстрируется полный потенциал наблюдений за поверхностью Земли для глобальной оценки водных ресурсов.

Кроме того, портал дополняет набор инструментов, предоставляемых ЮНЕСКО государствам-членам для мониторинга и управления водными ресурсами на устойчивой основе и достижения Целей устойчивого развития. Сюда входят интерактивные базы данных, такие, как Информационная сетевая система по водным ресурсам, регулярные публикации по оценке и мониторингу, например ежегодный Доклад о состоянии водных ресурсов мира, а также отчеты по мониторингу прогресса по показателям ЦУР6, первый из них будет выпущен в июне 2018 года.

Источник: ЮНЕСКО

<https://en.unesco.org/news/unesco-launches-pioneering-tool-monitor-water-quality>



Главный редактор - проф. В.А. Духовный

Верстка и макет: И.Ф. Беглов

Перевод: О.К. Усманова

Подготовлено к печати и отпечатано  
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,  
г. Ташкент, массив Карасу-4, д. 11  
Эл. почта: vdukhovniy@gmail.com

[cawater-info.net](http://cawater-info.net)

[sic.icwc-aral.uz](http://sic.icwc-aral.uz)