



**USAID**  
ОТ АМЕРИКАНСКОГО НАРОДА

# ФИНАЛЬНЫЙ ОТЧЕТ

## по разработке комплексной водно-энергетической модели для бассейна реки Сырдарья (с использованием инструментов планирования WEAP/LEAP)



---

# СОДЕРЖАНИЕ

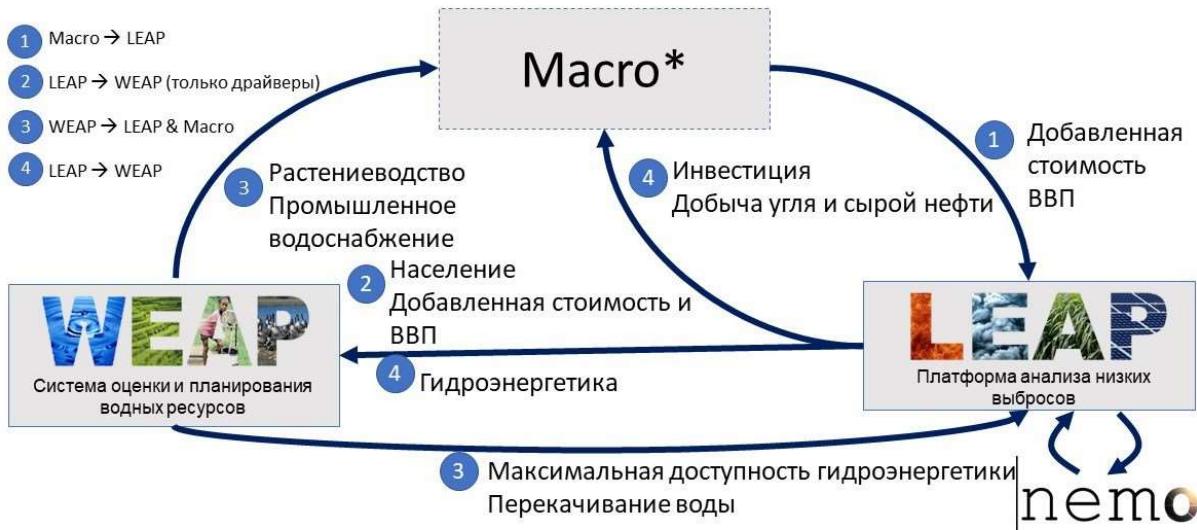
<b>Введение .....</b>	4
<b>1. Процесс поддержки принятия решений (RDS).....</b>	6
<b>2. Инструменты моделирования .....</b>	8
2.1. Система планирования и управления водными ресурсами (WEAP) .....	8
2.1.1. Общее описание .....	8
2.1.2. Применение и структура WEAP .....	8
2.2. Платформа анализа низких выбросов (LEAP).....	11
2.2.1. Общее описание .....	11
2.2.2. Применение и структура LEAP .....	12
2.3. Модель Macro (макроэкономическая модель).....	14
<b>3. Подход к моделированию «по видам деятельности» - комбинирование моделей .....</b>	17
<b>4. Региональные сценарии в моделях WEAP и LEAP .....</b>	19
4.1 Реализация сценариев развития в модели WEAP .....	20
4.2 Реализация сценариев развития в модели LEAP .....	25
4.3 Климатические проекции (прогнозы) .....	26
<b>5. Результаты анализа .....</b>	28
<b>6. Выводы .....</b>	34
Приложение 1: Файл конфигурации модели WAVE .....	35
Приложение 2. Модель WEAP для бассейна реки Сырдарья.....	43
Приложение 3. Модель LEAP для бассейна реки Сырдарья .....	91
Приложение 4: Пример файла журнала .....	112

# ВВЕДЕНИЕ

Региональный проект USAID по водным ресурсам и окружающей среде (USAID Regional Water and Vulnerable Environment Activity, WAVE) (далее Проект) представляет собой 5-летний проект, направленный на укрепление водного сотрудничества между странами Центральной Азии в целях повышения стабильности и обеспечения экономического процветания и здоровья экосистем. Проект осуществляется филиалом Tetra Tech ARD Inc. в Республике Казахстан.

Одна из целей Проекта заключается в содействии и продвижении процесса Поддержки принятия решений (Robust Decision Support, RDS) среди заинтересованных сторон на уровне бассейнов рек Сырдарья и Амударья, что будет способствовать совершенствованию систем стратегического планирования и принятия решений в интересах устойчивого развития всего региона. Процесс RDS сопровождается разработкой Комплексной водно-энерго-продовольственно-экологической (water-energy-food-environment nexus, WEFE) и макроэкономической модели для указанных выше целевых бассейнов и связанных с ними стран.

Подход к моделированию заключается в объединении модели планирования водных ресурсов, построенной с помощью Системы планирования и управления водными ресурсами (Water Evaluation and Planning Platform, WEAP), с моделью планирования в энергетическом секторе, построенной с помощью Платформы анализа низких выбросов (Low Emissions Analysis Platform, LEAP), а также Системы моделирования энергетической оптимизации (Next Modeling System for Optimization, NEMO) и Макроэкономической модели (Macro), предназначенной для работы в связке с платформой LEAP. Модели LEAP/NEMO, WEAP и Macro запускаются итеративно до достижения сходимости результатов. (см. Рисунок 1).



\*Только Казахстан и Кыргызская Республика

Рисунок 1. Итеративное решение LEAP, WEAP и Macro: модели прогоняются до достижения сходимости результатов.

Стокгольмский институт окружающей среды в США (Stockholm Environment Institute in the USA, SEI) является разработчиком указанных выше моделей и ключевым партнером Проекта по реализации работ по моделированию.

В настоящем отчете основное внимание уделяется результатам моделирования для бассейна реки Сырдарья.

---

---

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Все данные, используемые для моделирования, являются публично открытыми данными национальных учреждений и/или международными наборами данных. Модельные сценарии были разработаны в результате консультаций с национальными партнерами стран бассейна и могут отличаться от текущих тенденций развития стран/отраслей. Расчетные показатели, полученные в результатах моделирования, могут отличаться от фактической ситуации в странах, но они отражают основные тенденции развития. Разработка интегрированной (комплексной) водно-энергетической модели с применением инструментов моделирования WEAP и LEAP была направлена на демонстрацию преимуществ комбинированного использования в целях улучшения долгосрочного и комплексного планирования.

# I. ПРОЦЕСС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ (RDS)

Процесс RDS основан на теоретической схеме принятия решений в условиях неопределенности, которая, в свою очередь, возникла в результате реализации программы RAND (Research and Development Corporation) по принятию стратегических решений в условиях глубокой неопределенности.

Особенность процесса RDS заключается в том, что традиционные системы и подходы к принятию решений не учитывают критические неопределенности, такие как изменение климата, демографические процессы, экономическое развитие и т.д., где нет единого мнения о вероятности конкретных будущих изменений, таких как изменение климата.

В рамках Проекта процесс RDS применяется для решения задач планирования водных, продовольственных и энергетических ресурсов в условиях изменения климата и других явных неопределенностей таким образом, чтобы это непосредственно соответствовало принципам интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР), которые заключаются в необходимости совместного планирования использования водных ресурсов в речных бассейнах.

Ключевой особенностью применения процесса RDS является признание и преднамеренное включение анализа внешних факторов – таких как изменение климата, а также дополнительных факторов, таких как рост населения и экономическое развитие – в оценку потенциальных компромиссных и синергетических решений, связанных с конкретными мерами по адаптации к изменению климата в сфере управления водно-энергетическими ресурсами. В попытке надлежащим образом проанализировать широкий спектр неопределенностей, связанных с указанными выше внешними факторами, исполнительные (уполномоченные) лица (лица, принимающие решения), участвуют в циклическом (интерактивном) процессе определения мер, которые потенциально могут быть приняты в Сырдарьинском и Амударьинском бассейнах с целью снижения уязвимости и повышения устойчивости их водных и энергетических систем.

В общих чертах процесс RDS представлен ниже (см. Рисунок 2).



Рисунок 2. Процесс поддержки принятия решений (RDS).

---

---

Главными задачами продвижения процесса RDS в рамках Проекта является наращивание потенциала и вовлечение заинтересованных сторон в Сырдарынском и Амударынском речных бассейнах на всех его этапах – начиная с определения целей, формулирования проблем, анализа потенциальных вариантов политических, инженерно-технических и инфраструктурно-инвестиционных решений вплоть до выбора конкретных сценариев (стратегий) социально-экономического развития, представляющих наибольший интерес для стран региона. Это будет способствовать межотраслевому пониманию региональных решений, которые необходимо принять для укрепления водной, энергетической, продовольственной и экологической безопасности целевых государств и региона в целом, и – что более важно с точки зрения Проекта – пониманию и признанию выгод от применения такого комплексного подхода для обеспечения принятия более эффективных, информированных и комплексных решений.

В рамках Проекта процесс RDS реализуется на основе регионального диалога между профильными министерствами и другими учреждениями, работающими по водохозяйственным, энергетическим, экологическим и сельскохозяйственным вопросам, а также министерствами иностранных дел, научно-исследовательскими и стратегическими институтами во всех четырех странах бассейна р. Сырдарья, а именно Республике Казахстан, Кыргызской Республике, Республике Таджикистан и Республике Узбекистан.

# 2. ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## 2.1. Система планирования и управления водными ресурсами (WEAP)

### 2.1.1. Общее описание

Программное обеспечение WEAP разрабатывалось SEI в течение почти 20 лет и представляет собой полный набор инструментов для моделирования водных и водохозяйственных систем, включая такие их аспекты как гидрология дождевого и талого стока, гидротехническая инфраструктура, сельскохозяйственные, коммунально-бытовые, промышленные и экологические требования на воду, а также позволяет применять сложные правила эксплуатации и ограничения с точки зрения вододеления и водораспределения. Проблема распределения водных ресурсов решается с помощью алгоритмов линейного программирования (linear programming, LP), которые задаются в зависимости от определенных пользователем приоритетов спроса (потребностей) и предложения (снабжения) на водные ресурсы. Данное программное обеспечение хорошо документировано и сопровождается тематическим учебным пособием, размещенном на веб-сайте WEAP21. Более детальная информация о данном программном пакете и ссылки для загрузки доступны по адресу [www.weap21.org](http://www.weap21.org).

### 2.1.2. Применение и структура WEAP

WEAP обеспечивает достаточно высокий уровень дезагрегации (разбивки) данных и параметров для описания доступных и необходимых водных ресурсов (спроса и предложения на воду). На практике структура данных модели определяется поставленными научно-исследовательскими или политическими вопросами. На начальных стадиях применения платформы это могут быть вопросы, касающиеся наиболее эффективного распределения водных ресурсов среди конкурирующих потребителей – которые могут включать различные сектора водопользования (напр., коммунально-бытовой (жилищно-коммунальный), муниципальный, промышленный, сельскохозяйственный, гидроэнергетический, экологический и т.д.) – а также водопользователей в различных частях целевого бассейна. Таким образом, первым уровнем дезагрегации является определение того, какие секторы водопользования будут включены в модель. Следующий уровень дезагрегации заключается в определении того, каким образом каждый из секторов, потребляющих воду, должен быть дезагрегирован в пространственном плане. Пространственная дезагрегация, как правило, определяется местоположением источников воды. Например, сельскохозяйственные массивы, для нужд которых осуществляется водоотведение из русел основных рек, могут отражаться в модели отдельно от сельскохозяйственных угодий, для нужд которых вода отводится из притоков, впадающих в основные русла. Аналогичным образом, коммунально-бытовые потребности в воде могут быть дезагрегированы таким образом, что в каждой точке спроса вода забирается из одной и той же реки, и водопользователи, располагающиеся ниже по течению, испытывают на себе влияние забора воды в верховьях.

Эти соображения отражены в структуре данных, использованной для разработки региональной модели WEAP для бассейна реки Сырдарья. В рамках этой модели были рассмотрены следующие сектора водопользования и связанные с ними факторы спроса:

- **Коммунально-бытовое (жилищно-коммунальное) хозяйство:** население, потребление воды на душу населения;
- **Орошающее сельское хозяйство:** виды сельскохозяйственных культур, посевные площади;

- **Промышленность:** производственные мощности, водоемкость единицы продукции;
- **Гидроэнергетика:** потребности в электроэнергии;
- **Экосистемы:** исходя из потребностей экосистем.

Соответствующие потребности были определены для шести зон (точек) спроса внутри Сырдарьинского бассейна. Пример того, как эти потребности представлены в модели WEAP для каждой зоны спроса, представлен на Рисунке 3 ниже (красные кружки представляют точки спроса на воду, зеленые кружки – суб-бассейны, зеленые квадраты – грунтовые воды, синие пунктирные линии – сток осадков и питание грунтовых вод, синие сплошные линии – реки и ручьи, оранжевые сплошные линии – каналы, зеленые сплошные линии – точки забора поверхностных вод и/или точки откачки подземных вод, красные сплошные линии – возвратные водопотоки).

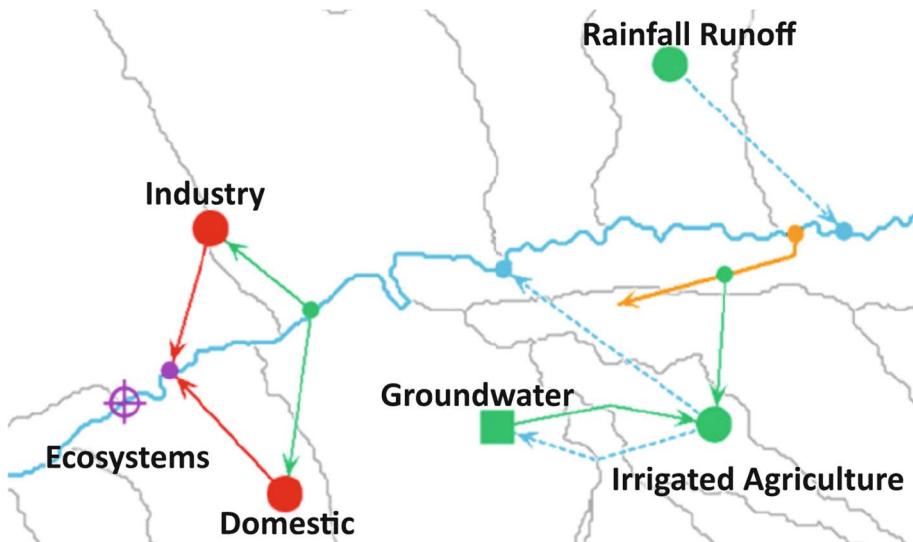


Рисунок 3. Графическая репрезентация водопотребления в модели WEAP (снимок экрана интерфейса модели WEAP).

Пространственное дезагрегация бассейна на суб-бассейны для целей моделирования гидрологии бассейна осуществлялась по аналогичному принципу. Изначально были определены ключевые точки речных русел, для которых необходимо было оценить объем стока. В первую очередь это определялось действующими и планируемыми объектами гидротехнической инфраструктуры, включая плотины и точки водозабора, а также точками слияния притоков с руслами основных рек. Применение такого подхода привело к разделению бассейна р. Сырдарьи на пятнадцать (15) суб-бассейнов (см. Рисунок 4. ниже).

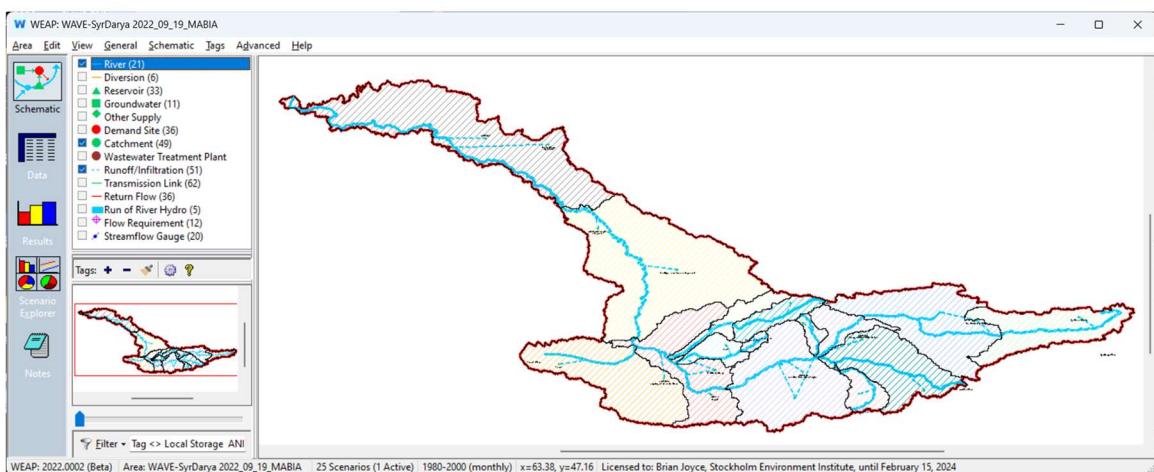


Рисунок 4. Пространственная дезагрегация (разделение) бассейна реки Сырдарья на водосборные подбассейны (снимок экрана интерфейса модели WEAP).

Принцип расчетов внутри модели WEAP обуславливается спросом на воду (потребностями), и, как таковая, данная модель обеспечивает существенную гибкость при структурировании данных с целью характеристики процессов водопользования. Другими словами, при необходимости модель позволяет проводить дезагрегацию данных высокой степени вплоть до уровня конечных водопользователей или же отдавать предпочтение разукрупненному анализу (с высокой степенью агрегации). Как правило, данные группируются по секторам водопользования, включая домохозяйства, промышленность и сельское хозяйство, каждый из которых можно далее разбить на различные подсекторы, типы конечного водопользования и устройства водопользования. Структуру данных можно также адаптировать к различным целям водопользования в зависимости от наличия данных, типов проводимого анализа («На какие вопросы необходимо получить ответы?»), и предпочтений. Модель WEAP также позволяет создавать различные уровни дезагрегации в каждой отдельной точке и/или секторе спроса.

Модель WEAP для бассейн реки Сырдарья включает в себя 19 точек (зон) спроса на воду (водопотребления). Данные зоны дезагрегированы по секторам (коммунально-бытовое, промышленное и сельскохозяйственное водопотребление) и странам (Казахстан, Узбекистан, Кыргызстан и Таджикистан). Поскольку ключевые данные о водопотреблении в сельском хозяйстве, коммунально-бытовом и промышленном секторе, как правило, собираются на национальном и областном уровнях, зоны спроса в рамках модели WEAP соответствуют государственным и административным границам. В некоторых случаях данные по отдельным областям были агрегированы в одну зону спроса. Такой подход применялся (Hunink, Lutz, and Droogers 2014) при разработке предыдущей версии модели WEAP для региона. Привязка областей к бассейнам/суб-бассейнам и зонам спроса в модели WEAP осуществлялась с учетом географического положения и информации из базы данных CAWater-info.net, содержащей статистические данные о водных ресурсах в разбивке по странам, административным единицам и бассейнам. Точки (зоны) спроса на воду в модели WEAP представлены на Рисунке 5. и в Таблице 1. ниже.

**Таблица 1. Точки (зоны) спроса на воду.**

Спрос на воду	Казахстан (KAZ)	Узбекистан (UZB)	Кыргызская Республика (KGZ)	Таджикистан (TJK)
Комм.-бытовой (DOM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_KAZ_Kyzylorda</li> <li>▪ DOM_KAZ_Turkestan_Shymkent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_UZB_Andijan_Namangan_Fergana</li> <li>▪ DOM_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_TJK_Sogd</li> </ul>
Промышленный (IND)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_KAZ_Kyzylorda</li> <li>▪ IND_KAZ_Turkestan_Shymkent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_UZB_Andijan_Namangan_Fergana</li> <li>▪ IND_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_TJK_Sogd</li> </ul>
Сельскохозяйственный (AGR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_KAZ_Kyzylorda</li> <li>▪ AGR_KAZ_Turkestan_Shymkent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_UZB_Andijan_Namangan_Fergana</li> <li>▪ AGR_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_TJK_Sogd</li> </ul>

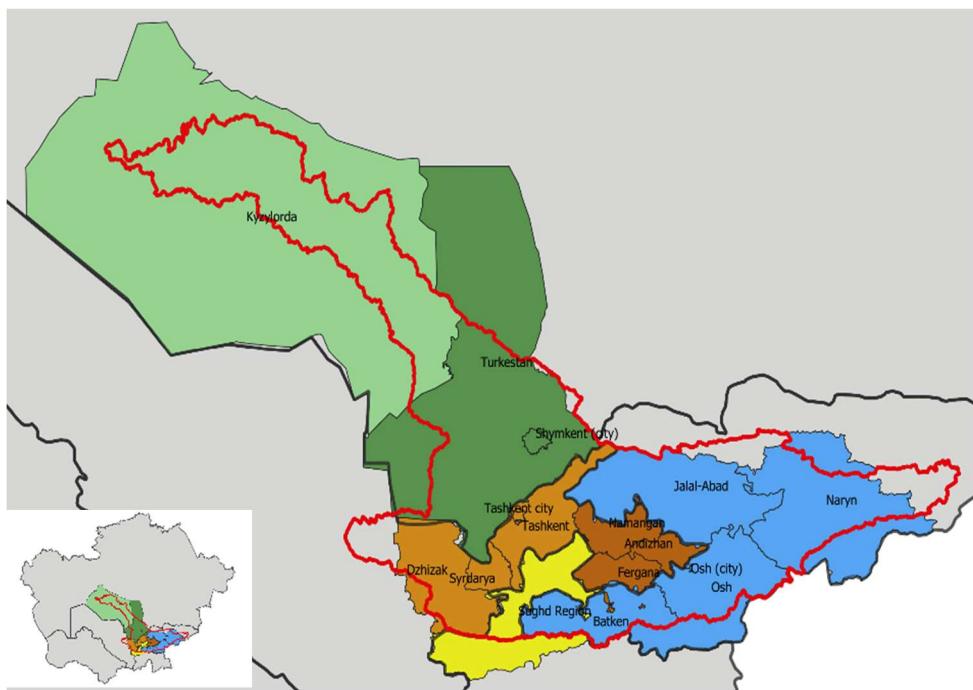


Рисунок 5. Распределение точек (зон) спроса на воду по областям в модели WEAP (снимок экрана интерфейса в ArcGIS).

## 2.2. Платформа анализа низких выбросов (LEAP)

### 2.2.1. Общее описание

Модель для бассейна реки Сырдарья построена на Платформе анализа низких выбросов (Low Emissions Analysis Platform, LEAP) – программном инструменте для моделирования энергетических систем, выбросов загрязняющих веществ, целей устойчивого развития и связанных с ними внешних факторов. Система LEAP также разработана SEI и является одним из наиболее широко используемых инструментов моделирования энергосистем в мире. Сообщество специалистов-практиков, использующих LEAP в своей работе, включает почти 60 000 человек<sup>1</sup>. Десятки стран полагаются на систему LEAP при разработке своих энергетических стратегий, планов смягчения последствий изменения климата, планов развития с низким уровнем выбросов и аналогичных мер политики. Так, например, система LEAP применялась в 61 государстве для разработки Определяемых на национальном уровне вкладов (Nationally Determined Contributions, NDC) в рамках Парижского климатического соглашения.

Наряду с платформой WEAP, система LEAP является неотъемлемым компонентом данного программного пакета моделирования. В рамках пакета система LEAP отвечает за моделирование конечных потребностей в энергии, выбросов загрязняющих веществ и большинства источников энергоснабжения (энергогенерации). Для моделирования конкретно электроснабжения, однако, дополнительно задействуется еще один программный инструмент, а именно Система моделирования энергетической оптимизации (Next Modeling System for Optimization, NEMO). NEMO представляет собой высокопроизводительный алгоритм для моделирования энергетических систем с открытым исходным кодом, также разработанный SEI. Он предназначен для интеграции с LEAP в качестве графического интерфейса пользователя. Модель использует NEMO для моделирования структуры электроснабжения с целью максимальной оптимизации соответствующих затрат/издержек. NEMO сконфигурирован таким образом, что пользователям не нужно взаимодействовать с ним напрямую – вместо этого модель LEAP сама автоматически запускает NEMO при проведении экспериментальных расчетов, и выходные данные NEMO отображаются в интерфейсе результатов LEAP.

1 <https://leap.sei.org/default.asp?action=stats>.

Система NEMO формулирует задачу по оптимизации электроснабжения, которую затем сама решает с помощью сторонней вычислительно-решающей программы (решателя). NEMO совместим с различными программами-решателями, в том числе с открытым исходным кодом и коммерческими/запатентованными. При анализе бассейна реки Сырдарья команда SEI в разное время использовала два приложения-решателя, а именно Gurobi и HiGHS. Gurobi является коммерческой программой и, как правило, для ее использования требуется наличие платной лицензии, в то время как HiGHS является программой с открытым исходным кодом и доступна бесплатно. Специалисты SEI использовали HiGHS в первую очередь при отработке процессов создания модели в рамках семинаров по наращиванию потенциала с заинтересованными сторонами. Gurobi применялась при проведении интегрированных водно-макроэкономических модельных расчетов, поскольку данное приложение характеризуется более высокими показателями производительности, и это было сочтено необходимым в контексте поставленных задач.

Каждый компонент программного модельного пакета – LEAP, NEMO и программы-решатели – сопровождается документацией, доступной онлайн, где подробно описываются методики их использования. Соответствующие материалы можно получить по следующим ссылкам:

- LEAP (<https://leap.sei.org/>);
- NEMO (<https://sei-international.github.io/NemoMod.jl/stable/>);
- Gurobi (<https://www.gurobi.com/>);
- HiGHS (<https://highs.dev/>).

## 2.2.2. Применение и структура LEAP

Модель, созданная в рамках Проекта, является полноценной моделью энергосистемы стран бассейна реки Сырдарья (Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана) и позволяет моделировать все аспекты генерации, потребления и обмена всеми энергносителями (типами топлива) в этих государствах, включая промежуточные и конечные<sup>2</sup> энергопотребности, процессы энергетической трансформации, добычу первичной энергии, импорт и экспорт энергии. Каждая из четырех стран рассматриваемого бассейна представлена в модели в качестве отдельной зоны, и большинство источников/видов деятельности, связанных с предложением (снабжением) энергии и спросом на нее, географически агрегируются на этом уровне. Вместе с тем, географически отдельно учитываются потребности (спрос) на энергию в сельскохозяйственном секторе, энергетические потребности для целей насосной перекачки воды и в гидроэнергетической отрасли. В таких случаях модель разграничивает спрос на воду или предложение воды внутри бассейна реки Сырдарья и за его пределами.

Модель охватывает период с 2010 по 2050 гг. В целом (но в зависимости от конкретной переменной) выходные данные на период 2010-2019 гг. основаны на исторических данных, а результаты для других периодов являются прогнозными (расчетными). По умолчанию временной шаг модели составляет 1 год, и большинство показателей по энергопотребностям, энергоснабжению и другим выводным параметрам рассчитывались с годовым интервалом. Здесь единственным исключением является только электроэнергия – спрос на нее и ее предложение моделировались по 288 временным срезам (time slices) в течение года, что соответствует количеству стандартных 24-часовых дней в каждом месяце.

Кроме географической дезагрегации, модельные конечные потребности в энергии разбивались по секторам, подсекторам и типам топлива. В модели представлены следующие секторы:

- сельское хозяйство;
- торговля (коммерческий сектор);
- промышленность;
- коммунально-бытовой (жилищно-коммунальный);
- транспорт.

<sup>2</sup> Потребности конечных энергопотребителей (т.е. пользователей, не являющихся производителями энергии).

---

Моделирование спроса также охватывает спрос на международное бункерное топливо (прим.: топливо, потребляемое международным морским и воздушным транспортом), затраты энергии на неэнергетические процессы (напр., переработка нефтехимического сырья), статистические различия в энергетических балансах и другие неклассифицированные конечные энергопотребности.

Для каждой страны модельный блок (сторона) предложения (снабжения) определяется энергетическими/промышленными секторами, технологиями и видами топлива (энергоснабжающих). Основные из них включают в себя следующие:

- генерация на основе/производство биомассы;
- доменные печи;
- генерация на основе/производство брикетированного бурого угля;
- генерация на основе/производство древесного угля;
- угольные шахты (антрацит);
- угольные шахты (битумный);
- угольные шахты (лигнит);
- коксовые печи;
- генерация электроэнергии;
- генерация на основе/производство брикетированного каменного угля;
- теплогенерация;
- добыча природного газа;
- добыча нефти;
- нефтепереработка.

Блок поставок (снабжения, предложения) модели также отражает изменения в энергетических запасах или фондах, перетоки энергии между секторами, внутреннее энергопотребление энергопроизводителями и потери энергии при передаче, распределении и/или транспортировке.

При построении модели специалисты SEI уделяли особое внимание электроснабжению в связи с важностью этого сектора для бассейна реки Сырдарья. Каждый действующий, планируемый к строительству/вводу в эксплуатацию или потенциальный крупный гидроэнергетический объект на территории бассейна представлен в модели отдельно (всего 24). Другие объекты электроэнергетики агрегированы по технологиям – в модели представлены 33 такие технологии, включая технологии, связанные с ископаемыми видами топлива, ядерные, а также ветровые и биогазовые технологии. На Рисунке 6. (снимок экрана интерфейса модели LEAP) показана внутренняя структура сектора энергогенерации внутри модели, т.е. представлен полный перечень всех энергогенерирующих объектов и технологий, учитываемых в модели. Здесь также следует отметить, что модель LEAP автоматически скрывает объекты и технологии для зон, в которых они не используются/не существуют.

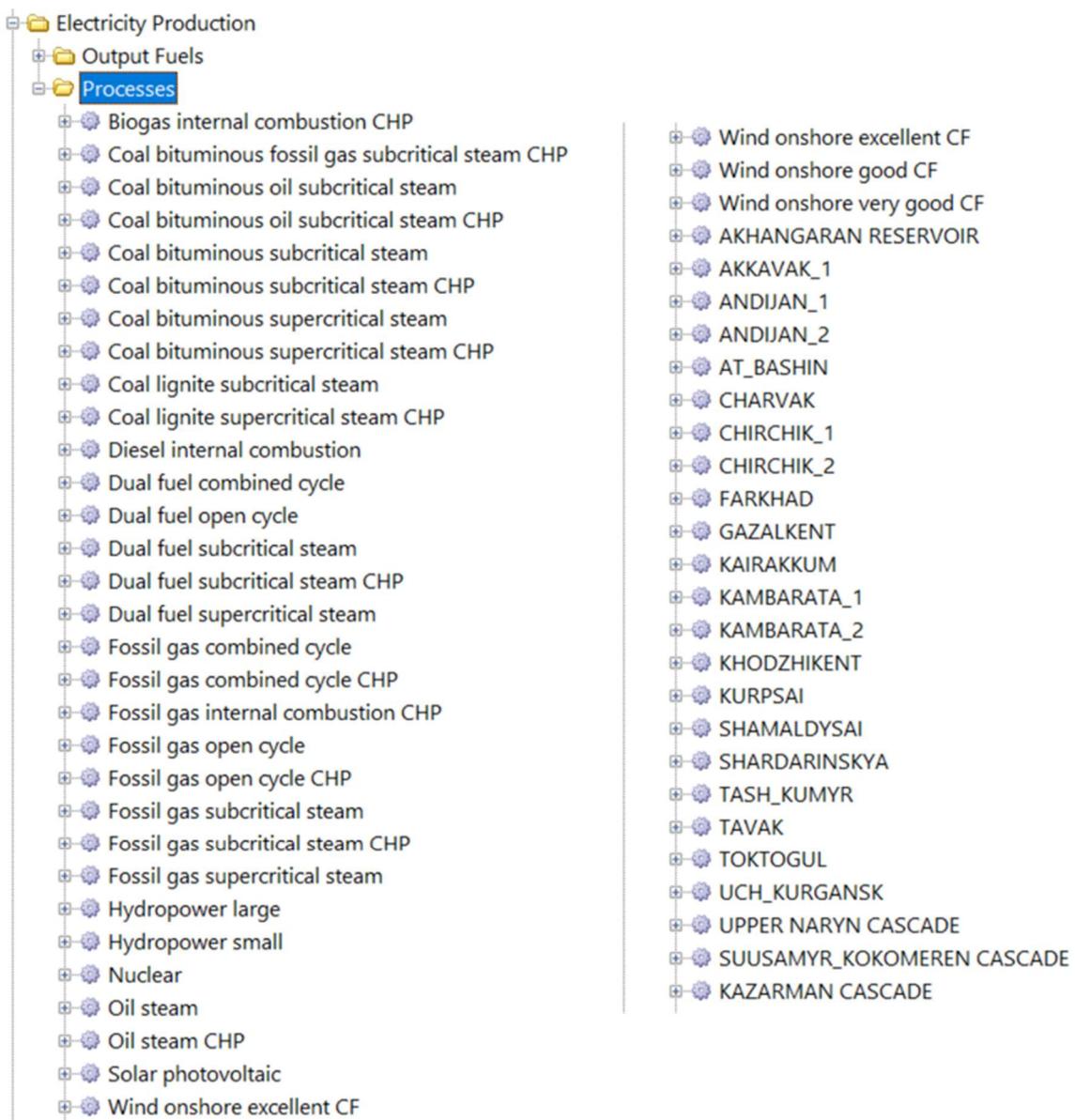


Рисунок 6. Структура энергогенерации в модели LEAP (снимок экрана интерфейса модели LEAP).

Модель позволяет учитывать запасы первичных энергоресурсов (как возобновляемых, так и невозобновляемых), а также импорт и экспорт энергии по видам топлива. LEAP использует эти данные при расчете энергетических балансов для каждого смоделированного года.

В дополнение к потреблению и производству энергии в модели количественно определяются выбросы основных парниковых газов – а именно диоксида углерода, метана и окиси азота – из энергосистем.

### 2.3. Модель Macro (макроэкономическая модель)

Macro – это макроэкономическая модель с открытым исходным кодом (доступ можно получить через веб-сайт GitHub<sup>3</sup>), разработанная для применения в комбинации с системой LEAP через расширение LEAP-Macro. По данному инструменту имеется обширный спектр онлайн-литературы.<sup>4</sup>

Важно отметить, что Macro является инструментом экономического моделирования, но не планирования. Скорее, задача LEAP-Macro заключается в формировании внутренне согласованных экономических сценариев для системы LEAP. В стандартной моде-

3 <https://github.com/sei-international/LEAPMacro.jl>

4 <https://sei-international.github.io/LEAPMacro.jl/stable/>

ли LEAP уровни экономической активности определяются внешними факторами (напр., ВВП и добавленная стоимость по сектору). Но инвестиции в энергетику – рассчитанные моделью LEAP – вносят вклад в ВВП, что создает двустороннюю связь между энергетическим сектором и остальной экономикой. Комплекс LEAP-Macro позволяет моделировать уровни экономической активности, в то время как инвестиции в энергетику способствуют совокупному спросу. Как схематически показано на Рисунке 6, при стандартном использовании эксперименты (расчеты) внутри LEAP и Macro выполняются итеративно (циклически) до конвергенции (сходимости) моделей. Для целей настоящего Проекта модели LEAP, Macro и WEAP прогонялись итеративно, как показано на Рисунке 7.

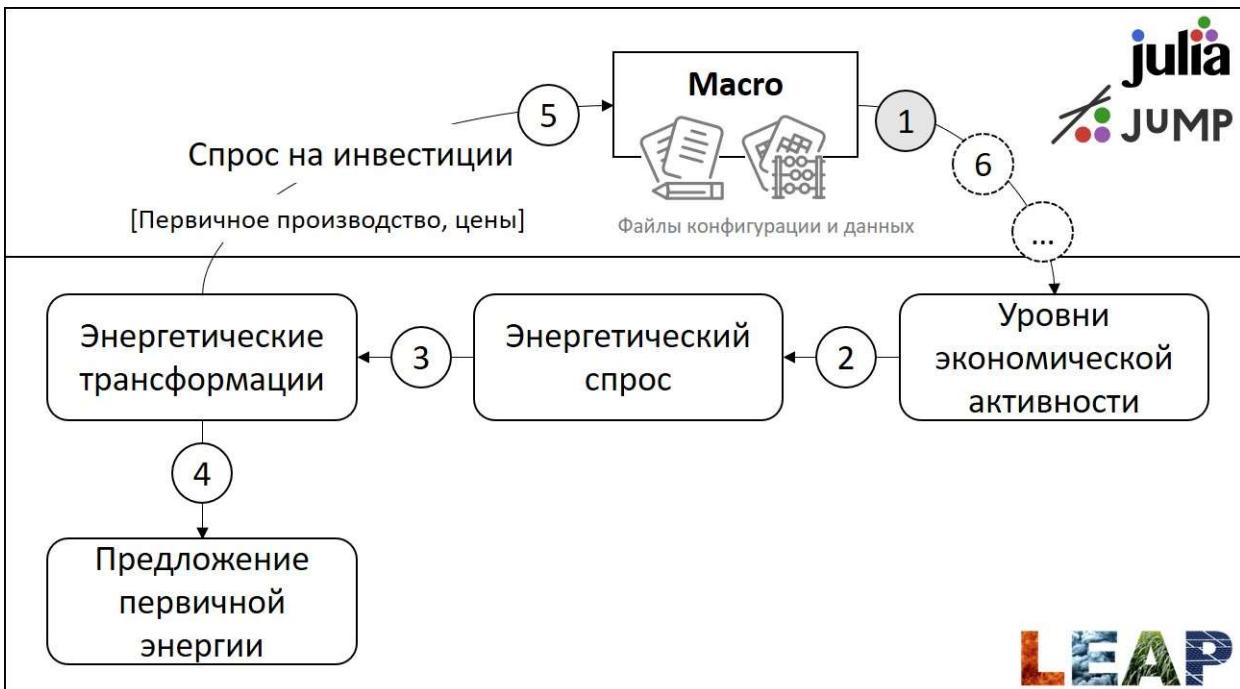


Рисунок 7. Взаимодействие моделей LEAP и Macro.

Макроэкономическая модель строится на наборе отношений между счетами, которые инициируются посредством национальных таблиц поставок и потребления (также таблицы «Ресурсы-использование») (National Supply and Use Tables) (см. Рисунок 8.), а после этого модель формирует последовательность соответствующих динамических взаимодействий. С подробным описанием методики можно ознакомиться в онлайн-материалах. Для целей настоящего отчета искомую причинно-следственную последовательность можно кратко описать следующим образом: 1) исторический и ожидаемый спрос, как внутренний, так и экспортный, стимулирует инвестиции; инвестиции также зависят от рентабельности, которая – в свою очередь – зависит от уровня заработной платы и цен на товары и услуги; 2) инвестиции приводят к росту совокупного конечного спроса; 3) спрос на промежуточные товары и услуги дополняет конечный спрос, что обуславливает совокупный внутренний спрос и, таким образом, стимулирует развитие экономики.

## Логика модели Macro: Балансы

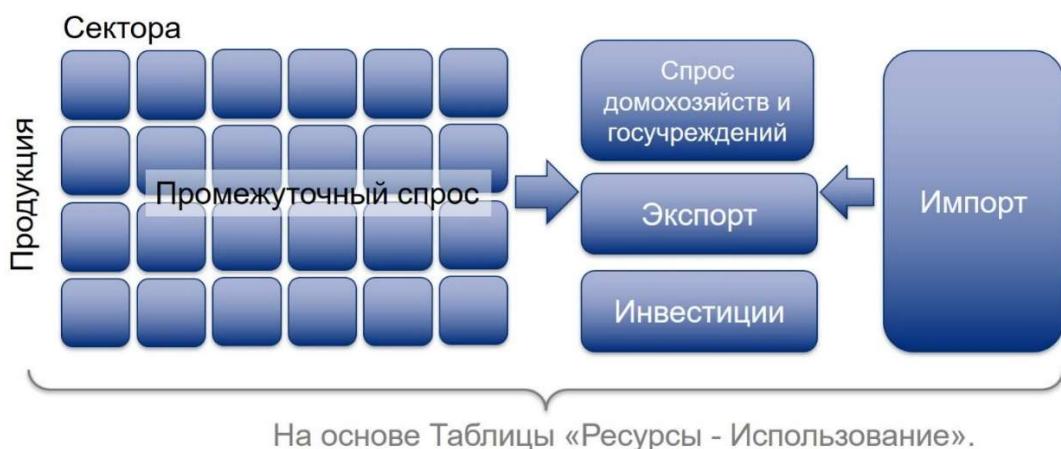


Рисунок 8. Структура базовых расчётов в модели Macro.

Некоторые другие особенности модели Macro, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов, включают в себя следующие:

- модель корректирует импорт для удовлетворения спроса, но некоторые товары являются «неторгуемыми». Для этой категории товаров:
  - инвестиционный спрос всегда удовлетворяется достаточным предложением (или модель сообщает, что она не может найти решение);
  - экспортные поставки и поставки для целей домохозяйств и государства могут не удовлетворять желаемые потребности.
- заработная плата, как правило, растет с ростом инфляции, но растет еще быстрее, если рост спроса на рабочую силу превышает скорость роста населения трудоспособного возраста (и медленнее в противоположном случае);
- инвестиционный спрос зависит от коэффициента использования основного капитала, рентабельности сектора и ставки банковского кредитования (которая зависит от инфляции и темпов роста);
- внутренние цены устанавливаются на основе затрат, в то время как внешнеторговые цены определяются внешними факторами – различия между внутренними и внешнеторговыми ценами влияют на экспорт и импорт.

### 3. ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ «ПО ВИДАМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ» - КОМБИНИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ

По отдельности как LEAP, так и WEAP позволяют моделировать основные аспекты планирования водных и энергетических ресурсов. Так, например, LEAP может быть полезной при моделировании гидроэнергетической отрасли, но она не позволяет учитывать дефицит водных ресурсов или засушливые годы как потенциальные проблемы. В свою очередь WEAP позволяет рассчитывать, как гидроэнергетический потенциал может меняться в рамках различных сценариев водообеспеченности, но не дает возможность проанализировать как гидроэнергетика вписывается в общую энергетическую систему.

Подход к моделированию в рамках Проекта заключается в объединении модели (системы) планирования и управления водными ресурсами, построенной с помощью платформы WEAP, с моделью (системой) планирования энергетики, построенной с помощью LEAP, NEMO и Макроэкономической модели, предназначеннной для увязки с системой LEAP. Как уже говорилось выше, модельные эксперименты (расчеты) LEAP/ NEMO, WEAP и Macro выполняются итеративно, пока их выходные результаты не придут в состояние баланса (до сходимости результатов).

Таким образом, вышеуказанные модели были интегрированы специалистами SEI, чтобы они могли дополнять друг друга – ввиду этого WEAP и LEAP могут обмениваться между собой ключевыми параметрами и результатами моделирования, например, связанными с гидроэнергетикой или потребностями в воде для целей охлаждения установок и т.д. Совместно они способны отражать и моделировать изменения в условиях внутри как водохозяйственной, так и энергетической систем и, благодаря этому, позволяют создавать более всеобъемлющую водно-энергетическую модель, одновременно учитывая различные сектора экономики.

Процесс итераций реализуется через пользовательский командный файл на языке программирования Python, созданном специалистами SEI. Командный файл считывает файл конфигурации (см. Приложение 1. к настоящему отчету) и сообщает о ходе исполнения алгоритмов в файле регистрации (см. пример в Приложении 4.). Результаты моделирования доступны через интерфейсы обеих моделей – LEAP и WEAP, а результаты моделирования Macro – в текстовых файлах. Шаги в работе командного файла выполняются в следующей последовательности:

1. Командный файл (скрипт) запускает макроэкономическую модель, которая генерирует значения по экономическим факторам (добавленная стоимость и ВВП), которые после этого передаются в модель LEAP;
2. LEAP передает полученные значения показателей по населению в модель WEAP (без произведения каких-либо расчетов);
3. WEAP запускает расчеты и генерирует результаты по спросу на воду и ее поставкам (предложению):
  - а. данные под доступности воды для целей гидроэнергетики с учетом гидрологических показателей передаются в модель LEAP;
  - б. данные по производству сельскохозяйственных культур и доступности водных ресурсов для промышленных целей передаются в модель Macro;
4. LEAP запускает внутренний алгоритм расчетов и получает результаты для энергетического сектора:
  - а. данные по гидроэнергетике передаются в WEAP;

- а. данные по инвестициям в энергетический сектор, а также по добыче угля и сырой нефти передаются в модель Macro;
2. Инициируется внутренний алгоритм расчетов Macro. Далее цикл расчетов/взаимной передачи данных повторяется, начиная с Шага №1 до конвергенции моделей: ключевые результаты (особенно по гидроэнергетической отрасли) предыдущего цикла моделирования сопоставляются с результатами только что завершенного цикла и так далее; в случае, если все выходные показатели находятся в заданных пределах допустимой погрешности (принимается как 10%), то процесс модельных расчетов останавливается.

В целом интегрированная модель LEAP-Macro-WEAP отражает синергетические связи – как прямые, так и косвенные – между различными секторами экономики как показано на Рисунке 9. ниже.



Рисунок 9. Взаимосвязи между секторами (отраслями) экономики.

Используя обе системы в комплексе, лица, принимающие решения, могут анализировать, как отдельные варианты/решения в управлении водными и/или энергетическими ресурсами могут влиять на другие секторы экономики. Это позволяет оценивать потенциальные будущие сценарии и результаты с учетом действующих мер политики, целей и задач – т.е. если какой-то один подход приводит к неприемлемым результатам, можно проанализировать альтернативные сценарии, стратегии и меры.

# 4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ СЦЕНАРИИ В МОДЕЛЯХ WEAP И LEAP

В рамках Проекта процесс RDS был инициирован до начала разработки моделей посредством проведения серии национальных и региональных консультаций с министерствами и ведомствами, работающими по вопросам WEFE-нексуса (водные ресурсы, энергетика, сельское хозяйство, окружающая среда), а также с министерствами иностранных дел и экономики и со стратегическими и научно-исследовательскими институтами стран бассейна реки Сырдарья – Казахстана, Кыргызской Республики, Таджикистана и Узбекистана. Основные цели консультаций заключались в определении ключевых параметров, целей, источников данных и, что самое важное, в разработке региональных сценариев (с учетом национальных интересов/приоритетов и различных прогнозов) для последующего анализа с использованием моделей. Дальнейшее применение изолированного подхода к моделированию (проведение модельных экспериментов на базе WEAP и LEAP по-отдельности) и интегрированного подхода (WEAP-LEAP-Macro) дало разнящиеся результаты, доказывающие, что комплексное использование инструментов моделирования для целей планирования дает более целостные и всеобъемлющие результаты, и что именно такой подход следует использовать для достижения более устойчивых результатов в интересах общего устойчивого развития.

В результате проведения региональных консультаций было разработано шесть (6) описательных сценариев для дальнейшего моделирования, представленных ниже на Рисунке 10.



Рисунок 10. Региональные сценарии развития для анализа с применением модели по бассейну реки Сырдарья.

Все шесть сценариев были проанализированы с использованием моделей WEAP и LEAP для бассейна р. Сырдарья. Они включали в себя: Базовый сценарий (№1), отражающий нынешние условия и процедуры (правила), касающиеся управления водными и энергетическими ресурсами в бассейне, и пять дополнительных сценариев, отражающих по-

---

тенциальные изменения в системе управления водными и энергетическими ресурсами в будущем. Три Сценария (№ 2, 3 и 4) фокусировались на национальных планах развития в сферах водного хозяйства, сельского хозяйства и энергетики при сохранении статус-кво в том, как ресурсы распределяются между государствами бассейна. Еще два Сценария (№ 5 и 6) отражали потенциальные изменения целевых показателей в сферах водного хозяйства, сельского хозяйства и энергетики в каждом из заинтересованных государств в случае активизации обмена ресурсами между ними. В качестве вводных условий для каждого из последующих сценариев выступает предшествующий ему сценарий – т.е., Сценарий №2 включает в себя все модельные допущения, принятые для Сценария №1; Сценарий №3 включает в себя все допущения, заданные для Сценария №2 и так далее.

Сценарии отражают действующие меры политики, стратегии и планы развития каждой страны рассматриваемого бассейна, связанные с подходом WEFE-нексус «вода-энергия-продовольствие-окружающая среда», равно как и потенциальные меры, которые в настоящее время находятся на стадии обсуждения и еще не реализуются на практике. Таким образом, результаты моделирования в рамках Проекта не могут использоваться для аргументации в пользу и принятия каких-либо фактических решений – как уже говорилось выше, основной целью разработки модели для бассейна реки Сырдарья в рамках Проекта было продемонстрировать преимущества применения комплексного (интегрированного) подхода WEFE-нексус к принятию решений, а также тот факт, что комплексный (интегрированный) подход к анализу может приводить к выводам, кардинальным образом отличающимся от выводов, полученных при узко секторальной (изолированной) оценке действий/мер/решений.

#### **4.1 Реализация сценариев (путей) развития в модели WEAP**

Условия шести сценариев в рамках модели WEAP обобщены в Таблице 2. Как видно из таблицы, некоторые условия сохраняются при последовательном развитии сценариев от предыдущего к следующему. Так, например, в Сценариях №1-5 (S1, S2, S3, S4 и S5) экосистемам придается наименьший приоритет, и только в рамках Сценария №6 (S6) их восстановлению придается наивысший приоритет.

Таблица 2. Сводная таблица сценариев развития в модели WEAP.

Сценарий	Гидроэнергетика	Сельское хозяйство	Распределение воды	Экосистемы
S1: Базовый	Увеличение мощности 4 ГЭС	Площади сельхозугодий зафиксированы на уровне 2020 г.; урожайность соответствует прошлым трендам	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S2: Национальный фокус (интересы)	Условия Базового сценария плюс 4 новые ГЭС	Условия Базового сценария плюс переход на более коммерчески ценные культуры в Казахстане и Узбекистане	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S3: Усовершенствование водных и с/х практик, систем методов	Условия Базового сценария плюс 4 новые ГЭС	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S4: Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов	На основе выводных данных модели LEAP	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S5: Международное (региональное) сотрудничество	На основе выводных данных модели LEAP	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Плотины в верхней части бассейна функционируют с учетом удовлетворения всех потребностей в его нижней части	Низший приоритет
S6: Восстановление экосистем	На основе выводных данных модели LEAP	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Плотины в верхней части бассейна функционируют с учетом удовлетворения всех потребностей в его нижней части	Высший приоритет

Детальное описание каждого из сценариев модели WEAP приводится ниже.

#### Сценарий S1: «Базовый»

Данный сценарий можно также назвать «консервативным» (business-as-usual). Большинство условий модели WEAP являются фиксированными, однако внутренний спрос продолжает меняться с увеличением численности населения, как прогнозирует Департамент ООН по экономическим и социальным вопросам (2019), а промышленный спрос растет с ожидаемым ростом ВВП согласно допущениям Макроэкономической модели. В рамках данного сценария модель WEAP также учитывает следующие условия:

- гидроэнергетика: увеличение мощности Токтогульской ГЭС с 1228 до 1440 МВт в период с 2023 до 2025 гг., Уч-Курганской ГЭС – со 180 до 216 МВт к 2025 г., Кайраккумской ГЭС – со 126 до 174 МВт в 2023 г., Ат-Башинской ГЭС – с 40 до 44 МВт в 2022 г.;

- сельское хозяйство: общая площадь орошаемых угодий зафиксирована на уровне 2020 г.; методы ведения сельского хозяйства не меняются; потенциальная урожайность продолжает расти такими же темпами, как и ранее (исторические тенденции) (1990-2020 гг.);
- Распределение воды: Приоритеты распределения варьируются от 1 до 99, причем 1 - самый высокий приоритет, а 99 - самый низкий; для забора воды из водохранилища приоритет спроса должен быть выше приоритета хранения. Для бассейна Сырдарьи использовалась двухуровневая (двуухфакторная) система с распределением, представленным в таблице 3:
  - фактор №1: положение в пределах водосборного бассейна;
  - фактор №2: тип водопользования.

**Таблица 3. Приоритетность типов водопользования по месторасположению внутри водосборного бассейна (фактор №1) и по типу водопользования (фактор №2).**

Тип водопользования (потребности)	КР	Верх. УЗБ	ТДЖ	Нижн. УЗБ	Верх. КАЗ	Нижн. КАЗ
Коммунально-бытовое	1	11	21	31	41	41
Гидро-энергетика	2	12	22	32	42	42
Иrrигация	3	13	23	33	43	43
Промышленное	3	13	23	33	43	43
Охлаждение	4	14	24	34	44	44
Экосистемы	99	99	99	99	99	99
Хранение / накопление в водохранилищах	10	20	30	40	50	50

#### **Сценарий S2: «Национальный фокус (интересы)»**

Данный сценарий «унаследовал» и расширяет Сценарий №1. Согласно ему предполагается, что каждая страна бассейна будет осуществлять свои собственные программы по эксплуатации водных, сельскохозяйственных и энергетических ресурсов в соответствии со следующими условиями:

- гидроэнергетика: наращивание гидроэнергогенерации в Кыргызстане за счет строительства Камбаратинской ГЭС-1 (1860 МВт), Верхне-Нарынского каскада (237,7 МВт), Кокмеренского каскада (1305 МВт), Казарманского каскада (1160 МВт); расширения Камбаратинской ГЭС-2 со 120 до 360 МВт к 2030 г.;
- сельское хозяйство: с учетом заявленных целей Узбекистана и Казахстана по увеличению доли сельского хозяйства в ВВП; в рамках модели WEAP это отражалось за счет перехода с пшеницы как главной сельскохозяйственной культуры на более коммерчески ценные культуры и выращивание фруктов (напр., яблок); модельное допущение заключалось в переведении 50% земель, используемых для выращивания пшеницы, под фруктовые сады к 2050 г. в обеих странах;
- распределение водных ресурсов: аналогично Сценарию №1.

#### **Сценарий S3: «Усовершенствование водных и сельскохозяйственных практик, систем методов»**

В рамках данного сценария предполагается, что страны бассейна реки Сырдарья – согласно национальным планам развития – уделяют особое внимание совершенствованию агротехнических практик, что ведет к более эффективному использованию водных ресурсов; восстанавливаются и модернизируются ирригационные системы; внедряются новые сельскохозяйственные культуры и схемы их возделывания; а также масштабно развертываются водосберегающие и водоэффективные технологии:

- гидроэнергетика: аналогично Сценарию №2;
- сельское хозяйство: особое внимание уделяется повышению эффективности водопользования и улучшению методов ведения сельского хозяйства на территории всего бассейна посредством:
  - повышения эффективности орошения, достигаемое за счет применения водосберегающих технологий в каждой стране бассейна;

- сокращения потерь воды при транспортировке в каждой стране бассейна;
- повышения урожайности в Казахстане, Таджикистане и Узбекистане (в Кыргызстане сохраняется историческая тенденция);
- планов Казахстана к расширению посевных площадей под капельным орошением с одновременным увеличением урожайности не менее чем на 10% к 2030 г. В рамках модели WEAP это отражается посредством повышения эффективности орошения с 55 до 80% для садоводства, с 55 до 70% для рисоводства и с 65 до 80% для овощеводства. Ко всем культурам был применен коэффициент роста, так что к 2030 году потенциальная урожайность увеличится на 10 процентов по сравнению с уровнем 2020 года.;
- планов Кыргызстана увеличить количество обрабатываемых земель на четыре процента и введения 487 миллионов кубометров дополнительных водохранилищ для орошения к 2030 году. В рамках модели WEAP расширение посевных площадей применялось единообразно для всех культур, а дополнительные водохранилища были введены в 2030 год.
- планов Таджикистана удвоить продуктивность использования воды в сельскохозяйственных оросительных системах с одновременным увеличением посевных площадей на 10%. Повышение продуктивности использования воды может быть достигнуто за счет сочетания применения усовершенствованных технологий орошения, сокращения потерь и внедрения улучшенных сортов сельскохозяйственных культур. В рамках данного сценария модели WEAP допускается, что к 2030 г. в Таджикистане потенциальная урожайность вырастет на 10%, потери воды в каналах сократятся на 25%, а также повысится общая эффективность орошения садов с 55 до 65%, овощей с 65 до 70%, зерновых с 55 до 60% и риса с 55 до 60%. Условие расширения посевных площадей применялось единообразно ко всем культурам;
- планов Узбекистана по расширению посевных площадей на 10% с одновременным повышением продуктивности использования воды в сельском хозяйстве посредством сочетания снижения потерь в каналах, повышения эффективности орошения, а также за счет изменения структуры земледелия и применения методов ведения сельского хозяйства, повышающих урожайность. Цель повышения продуктивности использования воды, по меньшей мере, частично достигается путем перевода половины площадей, используемых в настоящее время для выращивания пшеницы, в садовые угодья (согласно Сценарию №2). Дополнительные меры также включают сокращение потерь воды при транспортировке на 25%, увеличение потенциальной урожайности на 5% к 2030 г., а также повышение эффективности орошения к 2030 г. садов с 55 до 75%, овощей с 65 до 80%, зерновых с 55 до 75% и риса с 55 до 75%.
- распределение водных ресурсов: аналогично Сценариям №1 и 2.

#### **Сценарий S4: «Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов»**

Данный сценарий сосредоточен главным образом на допущениях в рамках модели LEAP, в том числе касающихся выполнения обязательств в рамках ОНУВ (Определяемых на национальном уровне вкладов), и поэтому не требовал внесения каких-либо изменений в условия модели WEAP:

- гидроэнергетика: любые изменения передаются в модель WEAP из модели LEAP;
- сельское хозяйство: аналогично Сценарию №3;
- распределение водных ресурсов: аналогично Сценариям №1, 2 и 3.

#### **Сценарий S5: «Международное (региональное) сотрудничество»**

Для данного сценария были добавлены допущения об усилении международного (регионального) сотрудничества в области водных ресурсов, энергетики и сельского хозяйства, что позволило проанализировать выгоды, которые могут быть достигнуты за счет улучшения трансграничной координации и обмена ресурсами в этих секторах. В модели WEAP это отражалось путем изменения структуры приоритетов (см. Таблицы 2. и 3.) – вместо использования двухфакторной структуры, основанной на местоположении внутри бассейна и типах водопользования, их приоритетность задавалась на основе только одного фактора (типа водопользования), т.е. коммунально-бытовое водопользова-

вание получило наивысший приоритет. За ним следовали гидроэнергетика, ирригация и промышленность (которые имеют одинаковый приоритет), хранение/накопление воды в водохранилищах и, наконец, экосистемы.

- гидроэнергетика: аналогично Сценарию №4;
- сельское хозяйство: аналогично Сценариям №3 и 4;
- распределение водных ресурсов: приоритетность распределения водных ресурсов изменена таким образом, что плотины в верхней части бассейна сбрасывают воду для удовлетворения потребностей водопользователей в нижней части бассейна.

#### **Сценарий S6: «Восстановление экосистем»**

В рамках последнего – шестого – сценария предполагается соблюдение минимальных требований по экологическим сбросам (экологическом стоку) для поддержания Северного Аральского моря. В модели WEAP это достигается путем корректировки структуры приоритетности типов водопользования по Сценарию №5 – бытовое водопользование получает первостепенное внимание, а после него следуют экосистемы, гидроэнергетика, ирригация, промышленность, и, наконец, хранение/накопление воды в водохранилищах. Требования к стоку устанавливаются на границах между странами бассейна согласно методу сдвига кривой продолжительности стока (Flow Duration Curve, FDC), позволяющему учитывать степень изменения первоначального экологического состояния реки по сравнению с ее естественным исходным состоянием. В рамках данного метода применяются следующие пять классов экологического управления (Ecological Management Classes, EMCs):

- Класс «A» = естественно-природные (неизмененные) условия; охраняемые реки и бассейны, заповедники и национальные парки с незначительным изменением русловых и прибрежных сред обитания; строительство новых плотин или водоотводных объектов запрещено;
- Класс «B» = в значительной степени естественно-природные условия; немного измененные и/или экологически важные реки, на которых разрешены маломасштабные схемы водоснабжения/водоотведения;
- Класс «C» = умеренно измененные экосистемы, где изменения таковы, что в целом оказывают ограниченное воздействие на целостность экосистемы, хотя чувствительные виды подвергаются воздействию;
- Класс «D» = сильно измененные экосистемы, где численность и площадь чувствительной биоты сокращается, а структура сообщества существенно, но приемлемо изменяются;
- Класс «E» = сильно измененные экосистемы, находящиеся в плохом состоянии, когда большинство функций и услуг экосистемы утрачены. Этот класс считается неприемлемым с точки зрения управления, так как представляет собой экосистемы, которые используются нерационально.

Требования к стоку стока были сконфигурированы согласно Классу «D» экологического управления (см.выше):

- гидроэнергетика: аналогично Сценариям № 4 и 5 ;
- сельское хозяйство: аналогично Сценариям № 3-5;
- водопользование: аналогично Сценарию №5, за исключением того, что наивысший приоритет присвоен экосистемам/требованиям к экологическому стоку;
- экосистемы: требования к стоку заданы вдоль всего русла р. Сырдарьи в каждой точке пересечения национальных границ:
  - о требования к стоку заданы на основе расчетных естественно-природных показателей стока по каждой климатической проекции;
  - о метод FDCShift (сдвиг класса FDC): устанавливает требования к стоку на основе степени, в которой бассейн был изменен по сравнению с естественными условиями, при этом более высокая степень модификации приводит к более низким требованиям к стоку.

Подробное описание характеристик и параметров моделей WEAP по всем сценариям представлен в Приложении 2. к настоящему отчету.

## 4.2 Реализация сценариев развития в модели LEAP

Итоги реализации Сценариев 2-6 (S2-S6) приведен в *Таблице 4.* ниже.

**Таблица 4. Сводная таблица сценариев развития в модели LEAP.**

Сценарий	Казахстан	Кыргызская Республика	Таджикистан	Узбекистан
S2: Национальный фокус (интересы)	Увеличение кол-ва крупных ГЭС	Увеличение кол-ва малых ГЭС	Увеличение кол-ва крупных ГЭС; достижение показателей экспорта электроэнергии	
S3: Усовершенствование водных и сельскохозяйственных практик, систем методов	Данные по доступности воды для целей гидроэнергогенерации и энергетическим потребностям насосных станций передаются из модели WEAP			
S4: Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов	К 2023 г. 100%-ное внедрение высокоэффективных насосных установок; другие изменения согласно нац. планам	К 2023 г. 100%-ное внедрение высокоэффективных насосных установок; другие изменения согласно нац. планам	К 2023 г. 100%-ное внедрение высокоэффективных насосных установок	К 2023 г. 100%-ное внедрение высокоэффективных насосных установок; другие изменения согласно нац. планам
S5: Международное (региональное) сотрудничество	Данные по доступности воды для целей гидроэнергогенерации и энергетическим потребностям насосных станций передаются из модели WEAP			
S6: Восстановление экосистем	Данные по доступности воды для целей гидроэнергогенерации и энергетическим потребностям насосных станций передаются из модели WEAP			

Детальное описание каждого из сценариев модели LEAP приводится ниже.

### **Сценарий S2: «Национальный фокус (интересы)»**

- Кыргызстан: строительство Верхне-Нарынской, Суусамыр-Кокомеренской, Казарманской и Камбаратинской ГЭС-1, расширение Камбаратинской ГЭС-2; установка малых ГЭС общей мощностью 300-400 МВт;
- Таджикистан:
  - строительство Рогунской, Шуробской, Санобской, Себзорской, Зеравшанской, Кайроккумской, Нурекской и Сарбандской ГЭС;
  - достижение целевого показателя экспорта электроэнергии в размере 5 млрд кВт/ч к 2025 г.;
- Узбекистан: аналогично Сценарию S1 (Базовый сценарий).

### **Сценарий S3: «Усовершенствование водных и сельскохозяйственных практик, систем методов»**

- Сохранение допущений в отношении энергетики аналогично Сценарию S4, но с учетом доступности воды для целей гидроэнергогенерации и энергопотребностей насосных станций согласно расчетным данным модели WEAP.

### **Сценарий S4: «Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов»**

Во всех странах 100%-ное внедрение высокоэффективных водяных насосных установок к 2023 г. и, кроме этого, следующее:

- Казахстан:
  - увеличение энергоемкости металлохимического производства на 10%, снижение энергозатрат жилых помещений на 15%, снижение потерь при передаче и распределении тепла до 10%, повышение эффективности производства тепла до 90%;

- целевые показатели энергогенерации из ВИЭ к 2030 г.: 30% альтернативная генерация электричества, 25% генерации за счет природного газа; 10% ветровая и солнечная генерация;
- экономия 12 МТНЭ энергии благодаря повышению энергоэффективности к 2030 г.
- Кыргызская Республика:
  - электрификация 50% дорог к 2050 г.;
  - 10%-ная доля ВИЭ в общем объеме первичной энергии к 2040 г.;
  - 60%-ная электрификация ж/д сетей;
  - ~12%-ное снижение потерь при передаче и распределения к 2023 г.
- Узбекистан:
  - 25%-ная доля ВИЭ в электроэнергетике к 2026 г.;
  - 60%-ная электрификация ж/д сетей к 2026 г.;
  - 50%-ная доля электромобилей в общем парке автотранспорта к 2050 г.;
  - секторальные целевые показатели энергоэффективности:
    - промышленность: 20%;
    - сельское хозяйство: 25%;
    - коммерческий сектор: 25%;
    - автомобильный транспорт: 25%;
  - введение в эксплуатацию 5 ГВт новых мощностей солнечной генерации, 3 ГВт новой ветровой генерации и 1,9 ГВт новой гидрогенерации.

#### **Сценарий S5: «Международное (региональное) сотрудничество» и Сценарий S6: «Восстановление экосистем»**

- Сохранение допущений в отношении энергетики аналогично Сценарию S4, но с учетом доступности воды для целей гидроэнергогенерации и энергопотребностей насосных станций согласно расчетным данным модели WEAP.

Детальное описание каждого из сценариев модели LEAP приводится в Приложении 3. к настоящему отчету.

#### **4.3 Климатические проекции (прогнозы)**

В дополнение к шести тематическим сценариям, описанным выше, при моделировании также учитывались четыре климатические проекции (климатические прогнозные модели). Как показано на Рисунке 11., результаты моделей 6-го Проекта сопоставления климатических моделей (6th Climate Model Intercomparison Project, CMIP6) климатические проекции (прогнозы) можно сгруппировать в условные «сухую», «умеренную» и «влажную» группы. Таким образом, в дополнение к исторической климатической проекции для моделей были отобраны три репрезентативные климатические модели (прогноза):

- «Исторический климат»: данный прогноз предполагает отсутствие дальнейших изменений климата;
- «сухой климат»: по аналогии с «влажным климатом» данный прогноз предполагает значительное изменение климата, которое приведет к более жарким и сухим условиям в бассейне реки Сырдарья. Используется Модель CM5 Института вычислительной математики (Institute for Numerical Mathematics, INM), моделирующая воздействие на климат в размере 8,5 Вт/м<sup>2</sup> в рамках Всеобщего социально-экономического сценария SSP5 - значительные вызовы в сфере смягчения последствий изменения климата (Shared Socioeconomic Pathway SSP5: High Mitigation Challenges, INM-CM5-0-ssp585));
- «средний или прогноз умеренного изменения климата (умеренное ИК)»: этот прогноз относится к умеренному уровню изменения климата, в результате которого температура в бассейне реки Сырдарья повысится, а количество осадков останется примерно на том же уровне. Используется Модель ESM1 Института Макса Планка (Max Planck Institute, MPI), моделирующая воздействие на климат в размере 4,5 Вт/м<sup>2</sup> в рамках Всеобщего социально-экономического сценария SSP2 - промежуточные вызовы (Shared Socioeconomic Pathway SSP2: Intermediate Challenges, MPI-ESM1-2-HR-ssp245));

- «влажный климат»: это прогноз значительного изменения климата, в результате которого климат в бассейне р. Сырдарья становится как более жарким, так и более влажным. Используется Модель CM4 Лаборатории геофизической гидрографии (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, GFDL), моделирующая воздействие на климат в размере 8,5 Вт/м<sup>2</sup> в рамках Всеобщего социально-экономического сценария SSP5 - значительные вызовы в сфере смягчения последствий изменения климата (Shared Socioeconomic Pathway SSP5: High Mitigation Challenges, INM-CM5-0-ssp585)).

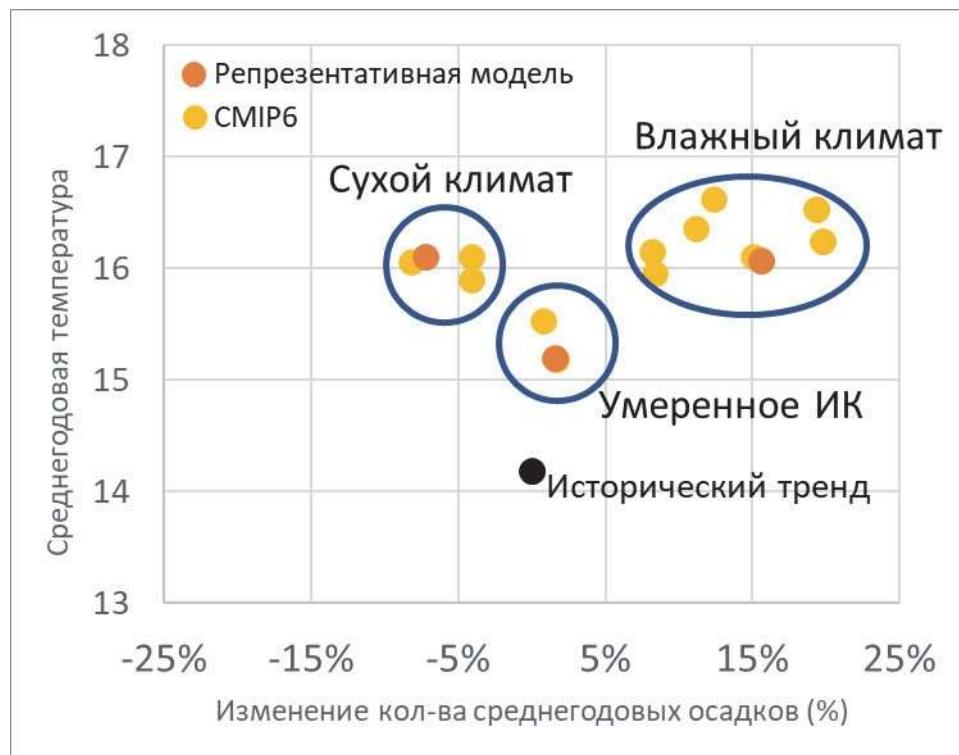
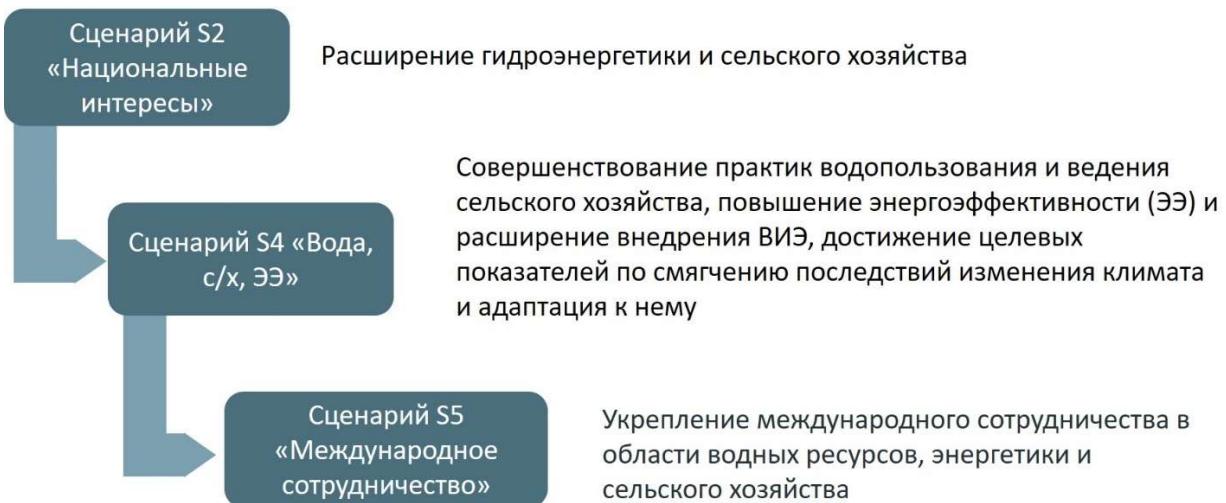


Рисунок 11. Четыре климатических прогноза: «исторический», «сухой» (INM-CM5-0-ssp585), «средний или умеренное изменение климата» (MPI-ESM1-2-HR-ssp245) и «влажный» (GFDL-CM4-ssp585)

Таким образом каждый модельный эксперимент определялся не только шестью тематическими сценариями, но и четырьмя описанными выше климатическими проекциями («исторической», «сухой», «умеренной» и «влажной»). Это привело к формированию в общей сложности 24-х сценариев, смоделированных на базе LEAP и WEAP. Согласно климатическим моделям, климат в Сырдарьинском бассейне, вероятно, станет жарче, а что касается влажности, то ситуация может развиться как в сторону повышения сухости, так и в сторону повышения влажности. Подробные результаты по всем 24-м сценариям представлены в Приложениях 2. и 3. к настоящему отчету.

# 5. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Для проведения аналитических работ модельные эксперименты были выполнены при полной интеграции WEAP, LEAP/NEMO и Macro только по Сценариям S1, S2, S4 и S5 для «влажного» и «сухого» климата – в общей сложности восемь полных циклов. Из них для более детального анализа были отобраны шесть, а именно Сценарии S2, S4 и S5 («влажный» и «сухой» климат). Каждый последующий сценарий проистекает из предыдущего; постепенные отличия, накапливающиеся между сценариями, схематично представлены на *Рисунке 12*.



*Рисунок 12. Сценарии развития, отобранные для детального анализа*

Анализ показал, что продолжение мер национальной политики в их текущем виде, как правило, приводит к увеличению объема неудовлетворенного спроса на воду, в частности для целей ирригации, вне зависимости от применения «сухой» или «влажной» проекции климата (см. красные кривые на *Рисунке 13*). После инициирования условий внедрения усовершенствованных мер политики в области водоснабжения и энергоэффективности, а также расширения регионального сотрудничества, объем неудовлетворенных потребностей в воде существенно (примерно на 30%) снижался по обеим климатическим проекциям, а соответствующие выгоды сохранялись до конца прогнозного периода (2050 г.).

На графике в правой части Рисунка 13. представлены все шесть кривых, отражающих тематические сценарии с соответствующими периодами превышения расчетного уровня неудовлетворенного спроса (в процентных долях). На графике падение высоких значений такого превышения означает меньшую вероятность высокого неудовлетворенного спроса. Как видно, пунктирные кривые («сухой» климат) лежат ниже сплошных кривых («влажный» климат) в левой части графика. Аналогичным образом, переход от Сценария S2 «Национальные интересы» к Сценарию S4 «Вода, сельское хозяйство и энергоэффективность» позволяет снизить масштаб неудовлетворенного спроса, а дальнейший переход к сценарию сотрудничества снижает его еще больше.

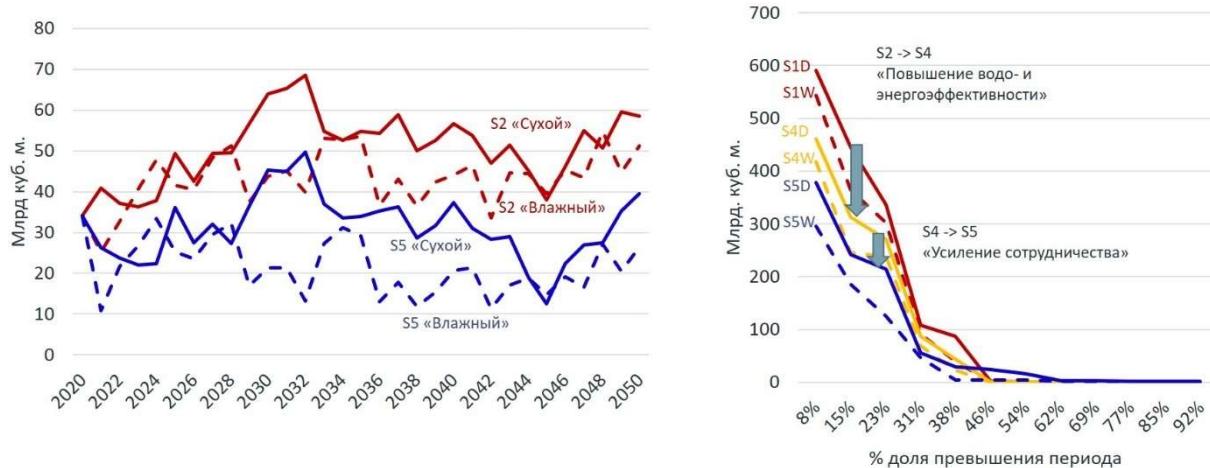


Рисунок 13. Неудовлетворенный спрос на ирригационную воду по разным сценариям в абсолютных значениях и в процентных долях продолжительности таких периодов.

Реализация сценария сотрудничества также ведет к сокращению выбросов парниковых газов по сравнению со сценарием осуществления странами бассейна нескоординированных между собой национальных программ по повышению эффективности энерго- и водопользования. Как показано на Рисунке 14., к 2050 г. в результате таких мер можно сократить совокупные выбросы парниковых газов Узбекистаном, Казахстаном, Кыргызской Республикой и Таджикистаном примерно на 20%.

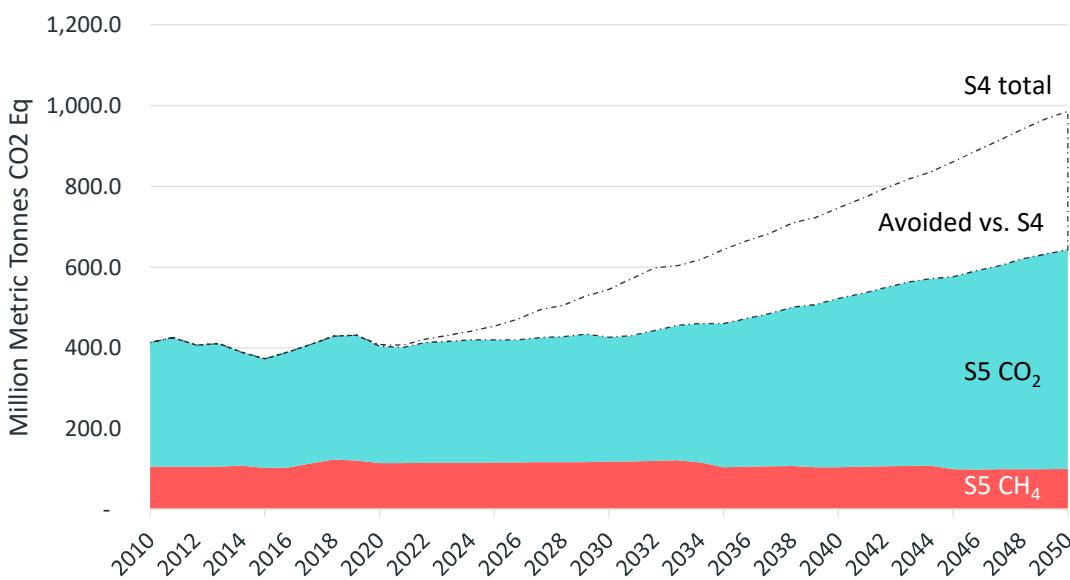


Рисунок 14. Выбросы парниковых газов трансграничными государствами в бассейне реки Сырдарья по Сценариям S4 и S5.

В качестве иллюстрации смоделированного экономического воздействия на Рисунке 15. показаны выходные данные по Кыргызской Республике, существенная часть территории которой лежит в пределах бассейна реки Сырдарья. Модель указывает на то, что внедрение национальных планов по наращиванию сельскохозяйственного производства параллельно с повышением водообеспеченности приводит к более чем на 3%-ому увеличению годовой добавленной стоимости в сельскохозяйственном секторе как в рамках «сухой», так и во «влажной» климатической проекции. Результаты по «сухой» климатической проекции отличаются от результатов по «влажной» проекции лишь незначительно. Нарашивание инвестиций синхронно с увеличением объема сельскохозяйственного производства приводит к увеличению ВВП в целом на 0,5%.

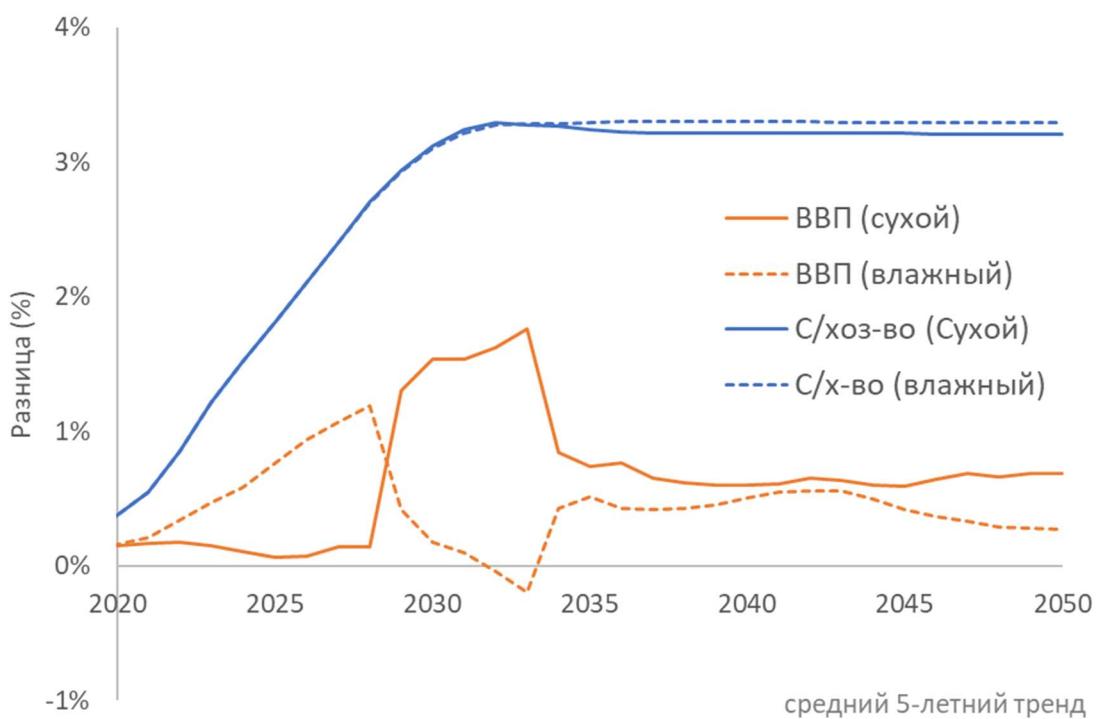


Рисунок 15. Процентная разница по ключевым экономическим показателям при сравнении Сценариев S5 и S2 (средний 5-летний тренд).

С одной стороны, результаты моделирования свидетельствуют о том, что независимая реализация странами бассейна своих национальных интересов фактически усилит водный дефицит в регионе по сравнению с нынешней ситуацией. С другой же стороны, они также указывают на то, что внедрение усовершенствованных мер политики в области водоснабжения и энергоэффективности и активизация регионального сотрудничества в Сырдарыинском бассейне снизят неудовлетворенные потребности в воде для целей ирригации и других видов водопользования, а также приведут к сокращению выбросов парниковых газов. Кроме этого, они могут не только оказывать положительное воздействие на показатели добавленной стоимости и ВВП в сельском хозяйстве, но и сохранять такой эффект с течением времени, т.е. после первоначального периода инвестиций.

В рамках работ с использованием LEAP-WEAP-Macro с целью прогнозирования развития ситуации до 2050 года был дополнительно проанализирован поднабор из следующих трех сценариев из числа шести, описанных выше:

1. **Сценарий (S2) «Национальный фокус (интересы)»:** построен с учетом действующих мер политики и планов в четырех стран бассейна, а также с учетом заявленных стремлений по реализации национальных приоритетов в отношении наращивания гидроэнергогенерации и сельскохозяйственного производства в бассейне р. Сырдарья;
2. **Сценарий (S3) «Эффективность»:** построен с учетом условий по совершенствованию практик водопользования и методов ведения сельского хозяйства за счет повышения производительности и энергоэффективности и расширения использования ВИЭ, а также мер по смягчению последствий изменения климата и адаптации к нему;
3. **Сценарий (S5) «Сотрудничество»:** аналогично предыдущему сценарию (общее повышение эффективности) и расширение международного сотрудничества по водным, энергетическим и сельскохозяйственным вопросам на основе совместного планирования.

Моделирование по данным сценариям проводилось в двух вариантах – без интеграции и при интеграции моделей LEAP, WEAP и Macro – с целью анализа того, в какой степени комплексные модели, учитывающие взаимосвязи между продовольствием, энергией и водой могут дать более реалистичные результаты и использоваться для оценки эффектов от сотрудничества между странами Сырдарьинского бассейна.

Графики производства гидроэлектроэнергии и орошения имеют решающее значение для определения доступности воды, поступающей из водохранилищ, для удовлетворения различных потребностей. Тем не менее, водные модели обычно позволяют анализировать сферу гидроэнергетики лишь упрощенно и не дают возможность анализировать ситуацию в этой отрасли с точки зрения удовлетворения пиковых энергопотребностей, таких как, например, отопительный сезон в зимнее время года. Аналогичным образом, энергетические модели чрезмерно упрощают параметр доступности гидроэнергии, так как обычно строятся на исторических данных о стоке, которые не учитывают такие факторы как изменение климата и изменчивость климата, имеющие место из года в год. Интегрированные водно-энергетические модели в отличие от отдельных водных и энергетических моделей могут давать более реалистичные результаты и, следовательно, способствовать принятию более эффективных решений в сфере планирования, как это стало очевидно при сопоставлении энергетических и водных выходных данных по модельным экспериментам WEAP и LEAP, проведенным по-отдельности, и при интеграции моделей WEAP-LEAP-MACRO.

В рамках комплексной (интегрированной) модели, WEAP генерирует ключевые вводные данные по годовым и внутригодовым колебаниям объемов гидрогенерации, а также с учетом последствий изменения климата и нехватки воды для энергетических целей в рамках модели LEAP. На примере Кыргызской Республики реализация Сценария S5 («Сотрудничество») приводит к значительно более высокой степени доступности воды для целей выработки гидроэлектроэнергии – а именно росту гидрогенерации вплоть до 21% к 2050 г., как показано на Рисунке 16 – по сравнению с результатами, полученными при использовании лишь модели LEAP отдельно.

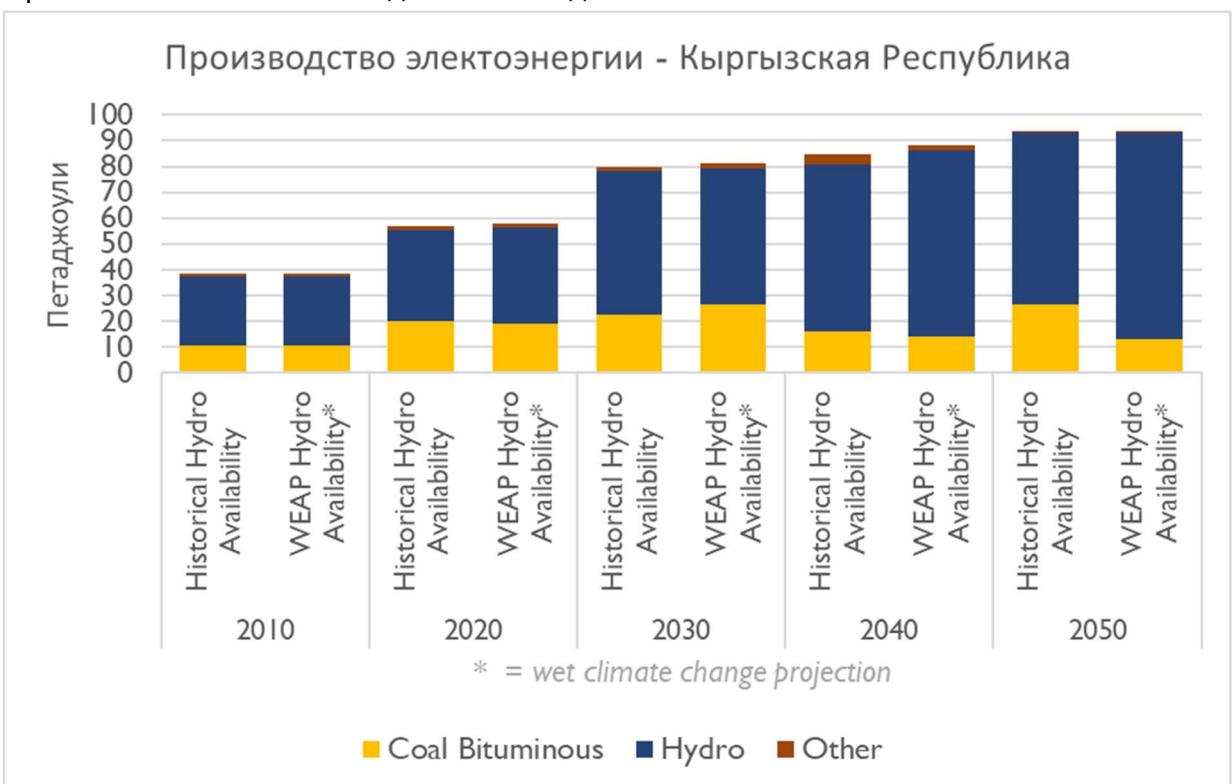


Рисунок 16. Сравнение производства электроэнергии в Кыргызской Республике с учетом и без учета интеграции LEAP/WEAP/Macro для сценария «Региональное сотрудничество».

Аналогичным образом, сравнивая результаты интегрированной модели WEAP-LEAP-Macro и результаты, полученные при использовании исключительно модели WEAP, видны существенные различия как в объемах водных ресурсов, так и в доступности воды для удовлетворения различных потребностей, особенно это касается ирригации. На Рисунке 17 представлено сравнение результатов моделирования при использовании только модели WEAP и интегрированной модели WEAP-LEAP-Macro в отношении запасов/накопления водных ресурсов в Сырдарьинском бассейне. Интегрированная модель указывает на значительно более высокие соответствующие показатели ввиду применения более сложной системы диспетчеризации гидроэлектроэнергии на основе модели LEAP, что приводит к увеличению водообеспеченности фактически на 20%.

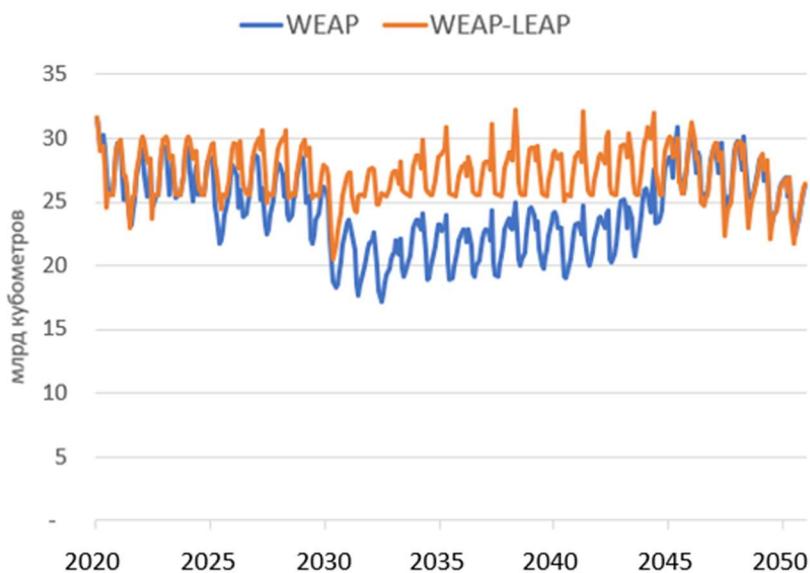


Рисунок 17. Сравнение запасов воды с интеграцией моделей и без нее.

Интегрированная модель показывает, что в отличие от результатов, полученных по моделям, работающим отдельно друг от друга, фактически меньше потребностей остается неудовлетворенными (см. Рисунок 18.), т.е. происходит значительный рост удовлетворения спроса на воду из года в год.

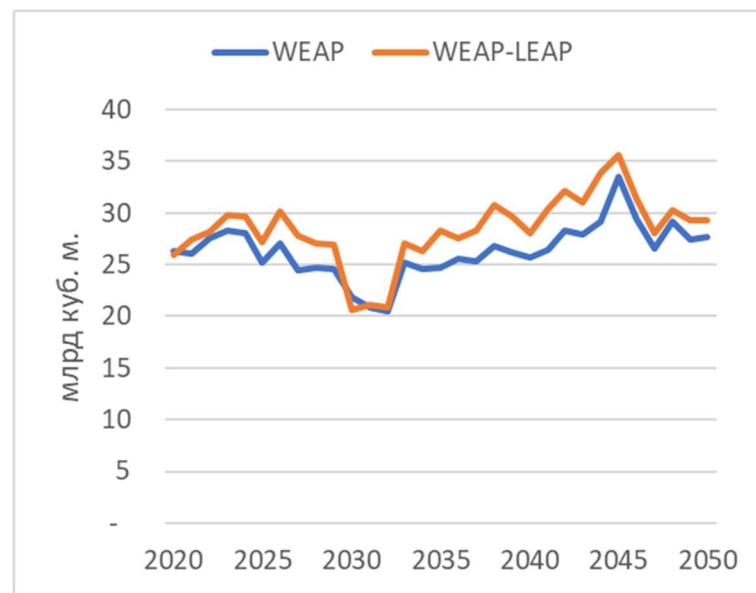


Рисунок 18. Сравнение объемов подаваемой воды, с интеграцией моделей и без нее.

---

---

Представленная интегрированная система моделирования открывает новые возможности при изучении потенциальных выгод от сотрудничества.

Меры политики в рамках сценария регионального сотрудничества оказывают воздействие на экономические показатели многочисленными и иногда даже противоречивыми способами. Одним из очевидных положительных преимуществ регионального сотрудничества (Сценарий S5) является то, что сельскохозяйственное производство демонстрирует более высокий прирост по сравнению со Сценарием S2. В Кыргызской Республике этот показатель увеличивается более чем на 3% в год с сохранением тренда. В Казахстане рост данного показателя меньше и достигает примерно 1%, после чего начинает медленно снижаться. Влияние на ВВП зависит от степени взаимодействия между секторами и является менее выраженным – незначительный рост в Кыргызской Республике и снижение в Казахстане.

# 6. ВЫВОДЫ

Проведение комплексного (интегрированного) анализа является сложным. Ввиду этого его следует проводить только тогда, когда интегрированная модель обеспечивает лучшее представление о ситуации по сравнению с применением отдельных моделей. Результаты проведенных работ говорят о том, что надлежащий анализ ситуации в бассейне реки Сырдарья требует *именно* такого подхода, т.е.:

- увязка моделей LEAP и WEAP приводит к получению других результатов по сектору гидроэнергетики;
- увязка моделей LEAP и Macro дает более сложные траектории изменения объема ВВП;
- увязка моделей WEAP и Macro показывает, как доступность воды влияет на экономику;
- увязка моделей LEAP, WEAP и Macro позволяет анализировать эти взаимные причинно-следственные связи.

С политической точки зрения полученные результаты убедительно свидетельствуют о том, что следование целевыми государствами вектором удовлетворения национальных интересов в изоляции друг от друга (Сценарий S2), вероятно, приведет к усилению дефицита воды в регионе. Поскольку для прибрежных государств целевой бассейн является общим, повышенный водный стресс будет оказывать волновое воздействие на весь регион в целом. Преодоление же этих вызовов через внедрение усовершенствованных водно-энергетических мер наряду с региональным сотрудничеством – осуществление планирования для всего бассейна целиком – приводит к увеличению объема водных ресурсов, доступных для сельского хозяйства и других видов водопользования, равно как и повышает эффективность мер по смягчению последствий изменения климата. Более того, такой вектор реализации секторальных мер политики может привести к увеличению добавленной стоимости и вклада сельскохозяйственного производства в ВВП.

Выходя за рамки конкретных задач по моделированию в рамках Проекта, результаты исследования также указывают на то, что анализ взаимосвязи (нексуса) «вода-энергия- продовольствие-окружающая среда» способен выявлять интересные идеи с точки зрения секторальных мер политики. Проведение такого анализа требует больших усилий и опирается на опыт различных дисциплин. Тем не менее, глубины понимания, которую дает только такой вид анализа, невозможно достичь при изолированном анализе отдельных аспектов/отраслей/вопросов. Важно отметить, что один из результатов исследования заключается в выводе, что гидроэнергетическую отрасль в целевом регионе следует анализировать с применением интегрированной (комплексной) модели «энергетика-водное хозяйство-сельское хозяйство», охватывающей конкурирующие водные потребности и альтернативные источники энергии. Комплексное моделирование также проливает свет на экономические последствия климатических ограничений для сельскохозяйственного производства. В свою очередь, экономический анализ позволяет расширить сферу планирования водных и энергетических ресурсов и перейти от традиционных подходов на основе оценки экономической эффективности к подходам планирования, позволяющим охватить всю экономическую систему и ее аспекты, включая стимулирующий эффект от более продуктивной эксплуатации ресурсов.

Исследование и процесс содействия различным секторам системы государственного управления показали, что планирование ресурсов с использованием комплексного («нексусного») подхода дает более устойчивые результаты, которые можно анализировать под разными углами, т.е. с учетом потребностей различных секторов и обеспечивая выгоды для всех из них. Другими словами, интегрированные инструменты планирования/анализа очевидно полезны для лиц, принимающих решения, так как позволяют составлять наиболее эффективный путь продвижения к высоким экономическим результатам, что потенциально будет положительно влиять на развитие всего рассматриваемого региона в целом.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1:

# ФАЙЛ КОНФИГУРАЦИИ МОДЕЛИ WAVE

---

```

#####
# WAVE integration config file
# Defines variable parameters required to run integration
# Needs to be kept up-to-date by user
#####
WEAP:
  Area: 'WAVE-SyrDarya 2022_09_19_MABIA'
  Branches:
    Population_KAZ:
      path: Key\Demographic\KAZ\National population
      variable: Annual Activity Level
      unit: cap
      leap_branch: Population
      leap_region: Kazakhstan
    Population_KGZ:
      path: Key\Demographic\KAZ\National population
      variable: Annual Activity Level
      unit: cap
      leap_branch: Population
      leap_region: Kyrgyzstan
    Population_TJK:
      path: Key\Demographic\KAZ\National population
      variable: Annual Activity Level
      unit: cap
      leap_branch: Population
      leap_region: Tajikistan
    Population_UZB:
      path: Key\Demographic\KAZ\National population
      variable: Annual Activity Level
      unit: cap
      leap_branch: Population
      leap_region: Uzbekistan
    GDP_KAZ:
      path: Key\Macroeconomic\KAZ\GDP
      variable: Annual Activity Level
      unit: Billion 2020 USD
      leap_branch: GDP
      leap_region: Kazakhstan
    GDP_KGZ:
      path: Key\Macroeconomic\KGZ\GDP
      variable: Annual Activity Level
      unit: Billion 2020 USD
      leap_branch: GDP
      leap_region: Kyrgyzstan
    GDP_TJK:
      path: Key\Macroeconomic\TJK\GDP
      variable: Annual Activity Level
      unit: Billion 2020 USD
      leap_branch: GDP
      leap_region: Tajikistan
    GDP_UZB:
      path: Key\Macroeconomic\UZB\GDP
      variable: Annual Activity Level
      unit: Billion 2020 USD
      leap_branch: GDP
      leap_region: Uzbekistan
    Industrial_VA_KAZ:
      path: Key\Macroeconomic\KAZ\Industrial value added
      variable: Annual Activity Level
      unit: '% share'
      leap_branch: GDP
      leap_branch: Industrial_VA_fraction
      leap_region: Kazakhstan
    Industrial_VA_KGZ:
      path: Key\Macroeconomic\KGZ\Industrial value added
      variable: Annual Activity Level
      unit: '% share'
      leap_branch: Industrial_VA_fraction
      leap_region: Kyrgyzstan
    Industrial_VA_TJK:
      path: Key\Macroeconomic\TJK\Industrial value added
      variable: Annual Activity Level

```

```

unit: '% share'
leap_branch: Industrial_VA_fraction
leap_region: Tajikistan
Industrial_VA_UZB:
path: Key\Macroeconomic\UZB\Industrial value added
variable: Annual Activity Level
unit: '% share'
leap_branch: Industrial_VA_fraction
leap_region: Uzbekistan

Hydropower_plants:
Toktogul:
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Reservoirs\Toktogul reservoir
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [TOKTOGUL]
Kambarata_I:
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Reservoirs\Kambarata_I
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [KAMBARATA_1]
Kambarata_II:
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Run of River Hydro\Kambarata II
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [KAMBARATA_2]
Kayrakkum :
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Reservoirs\Kayrakkum reservoir
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [KAIRAKKUM]
Shardara :
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Reservoirs\Shardara reservoir
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [SHARDARINSKYA]
Kurpsaiskaja:
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Reservoirs\Kurpsaiskaja
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [KURPSAI]
Taschkumyrskaja :
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Reservoirs\Taschkumyrskaja_cascade
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [TASH_KUMYR, SHAMALDYSAI, UCH_KURGANSK]
Farkhad :
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Reservoirs\Farkhad reservoir
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [FARKHAD]
Akhgaran :
weap_path : Supply and Resources\River\Ahgaran\Reservoirs\Akhgaran reservoir
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps: [AKHGANAR]
Charvak:
weap_path : Supply and Resources\River\Circik River\Reservoirs\Charvak reservoir
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [CHARVAK, GAZLKENT, KHODZHIKENT]
Chirchik:
weap_path : Supply and Resources\River\Circik River\Reservoirs\Chirchik_cascade
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [AKKAVAK_1, CHIRCHIK_1, CHIRCHIK_2, TAVAK]
Andijan :
weap_path : Supply and Resources\River\Andijan River\Reservoirs\Andijan Reservoir
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [ANDIJAN_1, ANDIJAN_2]
At-Bashi :
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Run of River Hydro\At Bashi RoR
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [AT_BASHIN]
Kokomeren :
weap_path : Supply and Resources\River\Kokomeren River\Run of River Hydro\Kokomeren RoR
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [KOKOMEREN]
Upper Naryn :
weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Run of River Hydro\Upper Naryn RoR
weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
leap_hpps : [UPPER NARYN]

```

```

Kazarman :
  weap_path : Supply and Resources\River\Syr Darya River\Run of River Hydro\Kazarman RoR
  weap_variable: :HydropowerGeneration[GWH]
  leap_hpp : [KAZARMAN]

Agricultural regions: # these are used for water pumping
Kazakhstan:
  Kyzylorda:
    weap_path : Demand Sites and Catchments\Agriculture_KAZ_Kyzylorda
    leap_region: Kazakhstan
    variable: Supply Requirement
    unit: m^3
  Shymkent:
    weap_path: Demand Sites and Catchments\Agriculture_KAZ_Turkestan_Shymkent
    leap_region: Kazakhstan
    variable: Supply Requirement
    unit: m^3
  Kyrgyzstan:
    JalalAbat:
      weap_path: Demand Sites and Catchments\Agriculture_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken
      leap_region: Kyrgyzstan
      variable: Supply Requirement
      unit: m^3
    Tajikistan:
      Sogd:
        weap_path: Demand Sites and Catchments\Agriculture_TJK_Sogd
        leap_region: Tajikistan
        variable: Supply Requirement
        unit: m^3
  Uzbekistan:
    Andijan:
      weap_path: Demand Sites and Catchments\Agriculture_UZB_Andijan_Namangan_Fergana
      leap_region: Uzbekistan
      variable: Supply Requirement
      unit: m^3
    SyrDarya:
      weap_path: Demand Sites and Catchments\Agriculture_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh
      leap_region: Uzbekistan
      variable: Supply Requirement
      unit: 'm^3'

Industrial and domestic regions: # these are used for water pumping
Kazakhstan:
  Kyzylorda_Ind:
    weap_path : Demand Sites and Catchments\Industrial_KAZ_Kyzylorda
    leap_region: Kazakhstan
    variable: Supply Requirement
    unit: m^3
  Shymkent_Ind:
    weap_path: Demand Sites and Catchments\Industrial_KAZ_Turkestan_Shymkent
    leap_region: Kazakhstan
    variable: Supply Requirement
    unit: m^3
  Kyzylorda_Dom:
    weap_path : Demand Sites and Catchments\Domestic_KAZ_Kyzylorda
    leap_region: Kazakhstan
    variable: Supply Requirement
    unit: m^3
  Shymkent_Dom:
    weap_path: Demand Sites and Catchments\Domestic_KAZ_Turkestan_Shymkent
    leap_region: Kazakhstan
    variable: Supply Requirement
    unit: m^3
  Kyrgyzstan:
    JalalAba_Ind:
      weap_path: Demand Sites and Catchments\Industrial_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken
      leap_region: Kyrgyzstan
      variable: Supply Requirement
      unit: m^3
    JalalAbat_Dom:
      weap_path: Demand Sites and Catchments\Domestic_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken
      leap_region: Kyrgyzstan

```

---

```

variable: Supply Requirement
unit: m^3
Tajikistan:
Sogd_Ind:
  weap_path: Demand Sites and Catchments\Industrial_TJK_Sogd
  leap_region: Tajikistan
  variable: Supply Requirement
  unit: m^3
Sogd_Dom:
  weap_path: Demand Sites and Catchments\Domestic_TJK_Sogd
  leap_region: Tajikistan
  variable: Supply Requirement
  unit: m^3
Uzbekistan:
Andijan_Ind:
  weap_path: Demand Sites and Catchments\Industrial_UZB_Andijan_Namangan_Fergana
  leap_region: Uzbekistan
  variable: Supply Requirement
  unit: m^3
SyrDarya_Ind:
  weap_path: Demand Sites and Catchments\Industrial_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh
  leap_region: Uzbekistan
  variable: Supply Requirement
  unit: m^3
Andijan_Dom:
  weap_path: Demand Sites and Catchments\Domestic_UZB_Andijan_Namangan_Fergana
  leap_region: Uzbekistan
  variable: Supply Requirement
  unit: m^3
SyrDarya_Dom:
  weap_path: Demand Sites and Catchments\Domestic_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh
  leap_region: Uzbekistan
  variable: Supply Requirement
  unit: m^3

LEAP:
Area: 'wave central asia v43'
Regions: ['Kazakhstan", "Kyrgyzstan", "Tajikistan", "Uzbekistan"]
# Folder for storing Excel files with WEAP outputs for hydropower plants used by LEAP as inputs
# Should be at the same level as the "LEAP Areas" folder -- it will be discovered by starting
with the LEAP Areas folder
Folder: WAVE_Hydro
# These are month names as specified in time slices; they should start with January and go
through December
Months: [January, February, March, April, May, June, July, August, September, October,
November, December]
Branches:
GDP:
  path: Key\Macroeconomic\Gross Domestic Product
  variable: Activity Level
  unit: 2020 USD
Population:
  path: Key\Demographic\Population
  variable: Activity Level
  unit: people
Industrial_VA_fraction:
  path: Key\Macroeconomic\Industrial\Industry_ValueAddedFraction
  variable: Activity Level
  unit: Fraction
Industrial VA:
  path: Key\Macroeconomic\Industrial_Value Added
  variable: Activity Level
  unit: 2020 USD
Commercial VA:
  path: Key\Macroeconomic\Commercial_Value Added
  variable: Activity Level
  unit: 2020 USD
Agricultural VA:
  path: Key\Macroeconomic\Agriculture_Value Added
  variable: Activity Level
  unit: 2020 USD

```

---

```

Ag_water_demand:
  path: Demand\Agriculture\Syr Darya\Water demand
  variable: Activity Level
  unit: Cubic Meter/No Data

Ind_water_demand:
  path: Demand\Industry\Other\Syr Darya Water Pumping
  variable: Activity Level
  unit: Cubic Meter/No Data

Hydropower_plants: # LEAP results to be checked for convergence

AKHANGARAN:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\AKHANGARAN RESERVOIR
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

ANDIJAN_1:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\ANDIJAN_1
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

AKKAVAK_1:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\AKKAVAK_1
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

ANDIJAN_2:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\ANDIJAN_2
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

AT_BASHIN:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\AT_BASHIN
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

CHARVAK:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\CHARVAK
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

CHIRCHIK_1:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\CHIRCHIK_1
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

CHIRCHIK_2:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\CHIRCHIK_2
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

FARKHAD:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\FARKHAD
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

GAZLKENT:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\GAZALKENT
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

KAIRAKKUM:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\KAIRAKKUM
  leap_region: Tajikistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

KAMBARATA_1:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\KAMBARATA_1
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

KAMBARATA_2:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\KAMBARATA_2

```

```

leap_region: Kyrgyzstan
leap_variable: Energy Generation
leap_unit: GWh
KHODZHIKENT:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\KHODZHIKENT
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
KURPSAI:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\KURPSAI
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
SHAMALDYSAI:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\SHAMALDYSAI
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
SHARDARINSKYA:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\SHARDARINSKYA
  leap_region: Kazakhstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
TASH_KUMYR:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\TASH_KUMYR
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
TAVAK:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\TAVAK
  leap_region: Uzbekistan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
TOKTOGUL:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\TOKTOGUL
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
UCH_KURGANSK:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\UCH_KURGANSK
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
KOKOMEREN:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\SUUSAMYR_KOKOMEREN CASCADE
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
UPPER NARYN:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\UPPERNARYN CASCADE
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh
KAZARMAN:
  leap_path: Transformation\Electricity Production\Processes\KAZARMAN CASCADE
  leap_region: Kyrgyzstan
  leap_variable: Energy Generation
  leap_unit: GWh

LEAP-Macro: # Removing this will stop wave-integration from running with leap-macro
# Main folder for Macro models: Should be at the same level as the "LEAP Areas" folder -- it
will be discovered by starting with the LEAP Areas folder
folder: WAVE_Macro
# Target variables are the same for each region: must match branches in LEAP config above
LEAP:
  target_variables : ['GDP', 'Industrial VA', 'Commercial VA', 'Agricultural VA']
WEAP:
  cov_to_util_exponent: 0.2
  sectorlist: ["Agriculture_","Industrial_","Domestic_"]
  croplist: ["Seasonal crops", "Perennial crops"]
regions:
  Kazakhstan:

```

```

directory_name: KAZ_Macro
script: runleapmacro.jl
weap_region: ['KAZ']
weap_coverage_mapping:
  'Agriculture_': ['S_agfor']
  'Industrial_': ['S_food', 'S_paperpulp', 'S_otherind']
  'Domestic_': ['S_hotelrestaurant', 'S_otherserv']
weap_crop_production_value_mapping:
  'Agriculture_': ['S_agfor']
weap_real_output_index_mapping:
  'Agriculture_':
    'All crops': ['S_agfor']
weap_price_index_mapping:
  'Agriculture_':
    'Seasonal crops': ['P_agforseasonal']
    'Perennial crops': ['P_agforperennial']
Kyrgyzstan: directory_name:
  KGZ_Macro script:
  runleapmacro.jl
  weap_region: ['KGZ']
  weap_coverage_mapping:
    'Agriculture_': ['S_agfor']
    'Industrial_': ['S_food', 'S_woodpaper', 'S_otherind']
    'Domestic_': ['S_hotelrestaurant', 'S_otherserv']
  weap_crop_production_value_mapping:
    'Agriculture_': ['S_agfor']
  weap_real_output_index_mapping:
    'Agriculture_':
      'All crops': ['S_agfor']
  weap_price_index_mapping:
    'Agriculture_':
      'All crops': ['P_agfor']
crop_categories:
  WEAP_to_Macro:
    'Apples': 'Perennial crops'
    'Barley': 'Seasonal crops'
    'Corn': 'Seasonal crops'
    'Cotton': 'Seasonal crops'
    'Grapes': 'Perennial crops'
    'Oil seeds and pulses': 'Seasonal crops'
    'Other crops': 'Seasonal crops'
    'Other grains': 'Seasonal crops'
    'Other orchards': 'Perennial crops'
    'Potatoes': 'Seasonal crops'
    'Rice': 'Seasonal crops'
    'Sugar beet': 'Seasonal crops'
    'Vegetables': 'Seasonal crops'
    'Watermelons and squash': 'Seasonal crops'
    'Wheat': 'Seasonal crops'
  Macro_to_WEAP:
    'Perennial crops':
      - 'Apples'
      - 'Grapes'
      - 'Other orchards'
    'Seasonal crops':
      - 'Barley'
      - 'Corn'
      - 'Cotton'
      - 'Oil seeds and pulses'
      - 'Other crops'
      - 'Other grains'
      - 'Potatoes'
      - 'Rice'
      - 'Sugar beet'
      - 'Vegetables'
      - 'Watermelons and squash'
      - 'Wheat'

```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2:

# МОДЕЛЬ WEAP ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРЬЯ

## 1 Модель WEAP для бассейна реки Сырдарья

В соответствии с предыдущими исследованиями, выполненными в бассейне реки Сырдарья, в данной аналитической работе использовалась платформа WEAP для анализа спроса и предложения на воду в данном бассейне с целью выявления потенциального ее дефицита и конфликтов между различными водопользователями. Программное обеспечение WEAP разрабатывалось SEI в течение почти 20 лет и предоставляет собой полный набор инструментов для моделирования водных и водохозяйственных систем, включая такие их аспекты как гидрология дождевого и талого стока, гидротехническая инфраструктура, сельскохозяйственные, коммунально-бытовые, промышленные и экологические требования на воду, а также позволяет применять сложные правила эксплуатации и ограничения с точки зрения вододеления и водораспределения. Проблема распределения водных ресурсов решается с помощью алгоритмов линейного программирования (linear programming, LP), которые задаются в зависимости от определенных пользователем приоритетов спроса (потребностей) и предложения (снабжения) на водные ресурсы. Данное программное обеспечение хорошо документировано и сопровождается тематическим учебным пособием, размещенном на веб-сайте WEAP21. Более детальная информация о данном программном пакете и ссылки для загрузки доступны по адресу [www.weap21.org](http://www.weap21.org). Источники данных для этого исследования приведены ниже в Приложении 2.А.

### 1.1 Пространственная дезагрегация

WEAP обеспечивает достаточно высокий уровень дезагрегации (разбивки) данных и параметров для описания доступных и необходимых водных ресурсов (спроса и предложения на воду). На практике структура данных модели определяется поставленными научно-исследовательскими или политическими вопросами. На начальных стадиях применения платформы это могут быть вопросы, касающиеся наиболее эффективного распределения водных ресурсов среди конкурирующих потребителей – которые могут включать различные сектора водопользования (напр., коммунально- бытовой (жилищно-коммунальный), муниципальный, промышленный, сельско- хозяйственный, гидроэнергетический, экологический и т.д.) – а также водопользователей в различных частях целевого бассейна. Таким образом, первым уровнем дезагрегации является определение того, какие секторы водопользования будут включены в модель. Следующий уровень дезагрегации заключается в определении того, каким образом каждый из секторов, потребляющих воду, должен быть дезагрегирован в пространственном плане. Пространственная дезагрегация, как правило, определяется местоположением источников воды. Например, сельскохозяйственные массивы, для нужд которых осуществляется водоотведение из русел основных рек, могут отражаться в модели отдельно от сельскохозяйственных угодий, для нужд которых вода отводится из притоков, впадающих в основные русла. Аналогичным образом, коммунально-бытовые потребности в воде могут быть дезагрегированы таким образом, что в каждой точке спроса вода забирается из одной и той же реки, и водопользователи, располагающиеся ниже по течению, испытывают на себе влияние забора воды в верховьях.

Эти соображения отражены в структуре данных, использованной для разработки региональной модели WEAP для бассейна реки Сырдарья. В рамках этой модели были рассмотрены следующие секторы водопользования и связанные с ними факторы спроса:

- **Коммунально-бытовое (жилищно-коммунальное) хозяйство:** население, потребление воды на душу населения;

- **Орошающее сельское хозяйство:** виды сельскохозяйственных культур, посевные площади;
- **Промышленность:** производственные мощности, водоемкость единицы продукции;
- **Гидроэнергетика:** потребности в электроэнергии;
- **Экосистемы:** исходя из потребностей экосистем.

Соответствующие потребности были определены для шести зон (точек) спроса внутри Сырдарьинского бассейна. Пример того, как эти потребности представлены в модели WEAP для каждой зоны спроса, представлен на Рисунке 3 ниже (красные кружки представляют точки спроса на воду, зеленые кружки – суб-бассейны, зеленые квадраты – грунтовые воды, синие пунктирные линии – сток осадков и питание грунтовых вод, синие сплошные линии – реки и ручьи, оранжевые сплошные линии – каналы, зеленые сплошные линии – точки забора поверхностных вод и/или точки откачки подземных вод, красные сплошные линии – возвратные водопотоки).

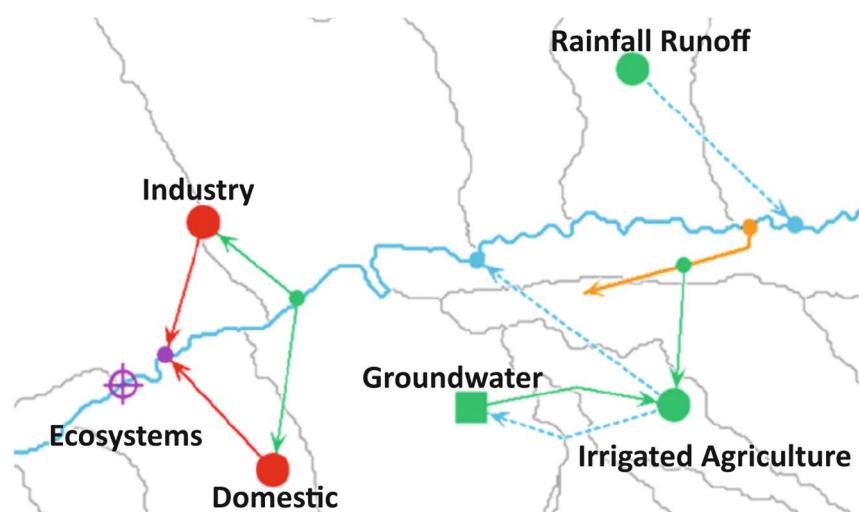
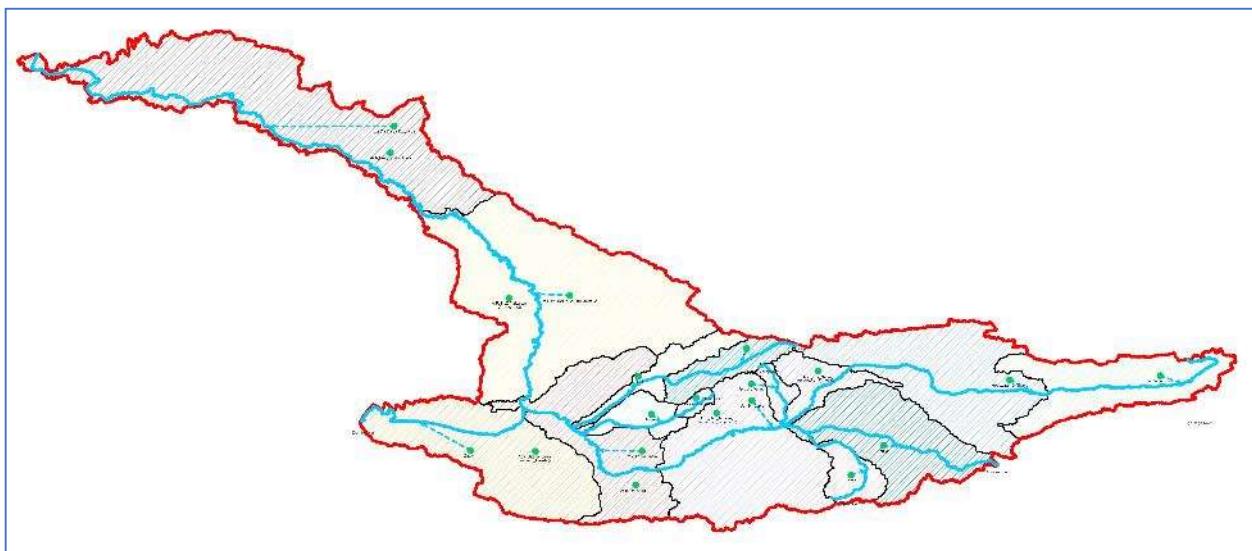


Рисунок 1. Графическая репрезентация водопотребления в модели WEAP (снимок экрана интерфейса модели WEAP).

Пространственная дезагрегация бассейна на суб-бассейны для целей моделирования гидрологии бассейна осуществлялась по аналогичному принципу. Изначально были определены ключевые точки речных русел, для которых необходимо было оценить объем стока. В первую очередь это определялось действующими и планируемыми объектами гидротехнической инфраструктуры, включая плотины и точки водозабора, а также точками слияния притоков с руслами основных рек. Применение такого подхода привело к разделению бассейна р. Сырдарьи на пятнадцать (15) суб-бассейнов (см. Рисунок 2).



**Рисунок 2. Пространственная дезагрегация (разделение) бассейна реки Сырдарья на водосборные подбассейны (снимок экрана интерфейса модели WEAP)**

## 1.2 Показатели успеха

Устойчивость системы выражается через показатели эффективности, которые представляют наибольший интерес для заинтересованных сторон. Метрики или показатели, полученные из WEAP или связанной с ней макроэкономической модели, включают:

- Охват спроса на воду по секторам (процент удовлетворенного спроса)
- Неудовлетворенные потребности в воде по секторам (м<sup>3</sup>/год)
- Производство гидроэлектроэнергии (тДж/год)
- сельскохозяйственное производство (млн. кг)
- Объем промышленного производства (варьируется в зависимости от сектора)
- Влияние на макроэкономику (процентное изменение ВВП)

Дополнительные метрики (показатели) могут быть добавлены на основе вклада заинтересованных сторон.

## 1.3 Критическая неопределенность: изменение климата

В бассейне р. Сырдарья необходимо разработать стратегические водные планы, учитывающие глубокую неопределенность, связанную с изменением климата. Для данного исследования были составлены прогнозы будущего климата полученные в рамках фазы 6 проекта по взаимному сравнению климатических моделей (он же CMIP6), который представляет собой последние климатические прогнозы из большого числа глобальных климатических моделей (GCM) и является существенным расширением по сравнению с предыдущими этапами с точки зрения количества проведенных экспериментов.

Эти данные показывают, что в период с 2030 по 2050 год среднегодовая температура, как ожидается, увеличится на 1-2,5 градуса Цельсия по сравнению с историческим средним показателем в 14,1 градуса Цельсия.

Данные также свидетельствуют о том, что существует ряд возможных последствий, касающихся годовых осадков, причем большинство климатических прогнозов указывают на увеличение количества осадков. Тем не менее, некоторые прогнозы предполагают, что количество осадков может уменьшиться на целых 10 процентов, что указывает на необходимость подготовки как к влажным, так и к засушливым годам.

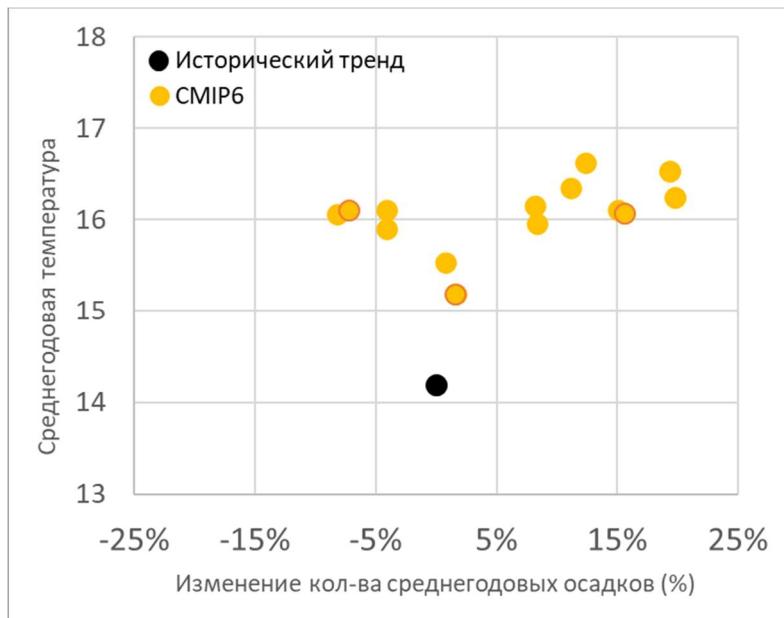


Рисунок 3. Исторические данные по осадкам и температуре по сравнению с отдельными прогнозами CMIP6 (2030-2050 гг.)

#### 1.4 Потребности в водных ресурсах (требования на воду)

Принцип расчетов внутри модели WEAP обуславливается спросом на воду (потребностями), и, как таковая, данная модель обеспечивает существенную гибкость при структурировании данных с целью характеристики процессов водопользования. Другими словами, при необходимости модель позволяет проводить дезагрегацию данных высокой степени вплоть до уровня конечных водопользователей или же отдавать предпочтение разукрупненному анализу (с высокой степенью агрегации). Как правило, данные группируются по секторам водопользования, включая домохозяйства, промышленность и сельское хозяйство, каждый из которых можно далее разбить на различные подсекторы, типы конечного водопользования и устройства водопользования. Структуру данных можно также адаптировать к различным целям водопользования в зависимости от наличия данных, типов проводимого анализа («На какие вопросы необходимо получить ответы?»), и предпочтений. Модель WEAP также позволяет создавать различные уровни дезагрегации в каждой отдельной точке и/или секторе спроса.

Модель WEAP для бассейн реки Сырдарья включает в себя 19 точек (зон) спроса на воду (водопотребления). Данные зоны дезагрегированы по секторам (коммунально-бытовое, промышленное и сельскохозяйственное водопотребление) и странам (Казахстан, Узбекистан, Кыргызская Республика и Таджикистан). Поскольку ключевые данные о водопотреблении в сельском хозяйстве, коммунально-бытовом и

промышленном секторе, как правило, собираются на национальном и областном уровнях, зоны спроса в рамках модели WEAP соответствуют государственным и административным границам. В некоторых случаях данные по отдельным областям были агрегированы в одну зону спроса. Такой подход применялся (Hunink, Lutz, and Droogers 2014) при разработке предыдущей версии модели WEAP для региона. Привязка областей к бассейнам/суббассейнам и зонам спроса в модели WEAP осуществлялась с учетом географического положения и информации из базы данных CAWater-info.net, содержащей статистические данные о водных ресурсах в разбивке по странам, административным единицам и бассейнам. Точки (зоны) спроса на воду в модели WEAP представлены ниже Рисунок 3 и Таблица 1 ниже.

**Таблица 1. Места (точки) спроса на воду**

Спрос на воду	Казахстан (KAZ)	Узбекистан (UZB)	Кыргызская Республика (KGZ)	Таджикистан (TJK)
Комм.-бытовой (DOM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_KAZ_Kyzylorda</li> <li>▪ DOM_KAZ_Turkestan_Shymkent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_UZB_Andijan_Namangan_Fergana</li> <li>▪ DOM_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ DOM_TJK_Sogd</li> </ul>
Промышленный (IND)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_KAZ_Kyzylorda</li> <li>▪ IND_KAZ_Turkestan_Shymkent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_UZB_Andijan_Namangan_Fergana</li> <li>▪ IND_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ IND_TJK_Sogd</li> </ul>
Сельско-хозяйственный (AGR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_KAZ_Kyzylorda</li> <li>▪ AGR_KAZ_Turkestan_Shymkent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_UZB_Andijan_Namangan_Fergana</li> <li>▪ AGR_UZB_SyrDarya_Tashkent_Jizzakh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_KGZ_Naryn_JalalAbat_Osh_Batken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ AGR_TJK_Sogd</li> </ul>

Все источники данных о спросе приведены ниже в [Приложении 2.А.](#)

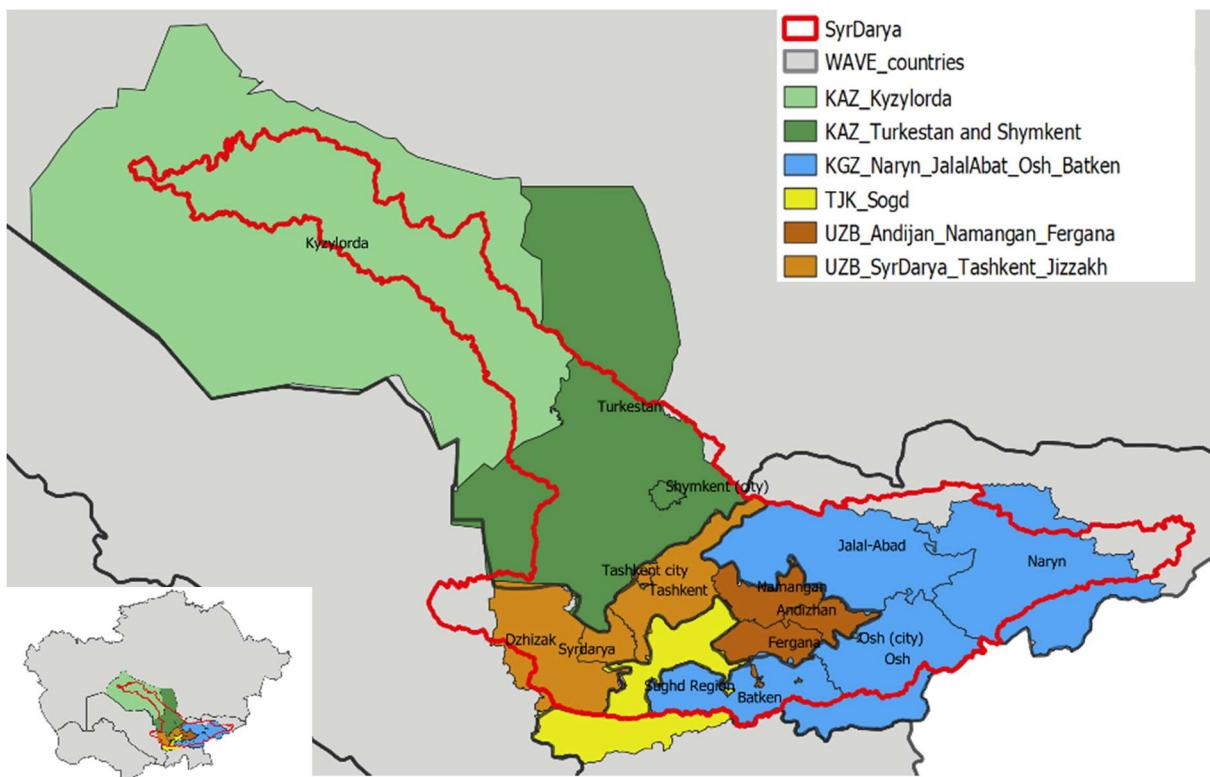


Рисунок 4. Распределение точек (зон) спроса на воду по областям в модели WEAP (снимок экрана интерфейса в ArcGIS)

#### 1.4.1 Распределение воды среди водопользователей

WEAP использует систему приоритетов для распределения воды от источников водоснабжения к объектам спроса и водосборам, для обеспечения стока в русле, наполнения водохранилищ и выработки гидроэлектроэнергии. Для модели Сырдарьи была использована двухуровневая структура приоритетов, в которой первый уровень определялся положением водопользователей на водосборе, а второй - по секторам водопользования. В этой конфигурации водопользователи в верхней части бассейна имеют наивысший приоритет (предполагается, что они предпочтут использовать имеющиеся запасы, прежде чем сбрасывать воду вниз по течению), а в пределах одного из регионов спроса наивысший приоритет имеют бытовые нужды, за которыми следуют гидроэнергетика, сельское хозяйство, промышленность, водохранилища и экосистемы. Структура приоритетов спроса на воду описана в Таблица 2.

Таблица 2. Приоритетов спроса на воду в WEAP

Сектор экономики	Кыргызская Республика	Узбекистан верховья (Андижан-Наманган-Фергана)	Таджикистан	Узбекистан низовья (Сырдарья-Ташкент-Джизак)	Казахстан Верховья (Туркестан-Шымкент)	Казахстан низовья (Кызылорда)
Коммунально-бытовой	1	11	21	31	41	51
Гидроэнергетика	2	12	22	32	42	52
Орошение	3	13	23	33	43	53
Промышленность	3	13	23	33	43	53
Экосистемы	99	99	99	99	99	99
Водохранилища	6	16	26	36	46	56

#### 1.4.2 Коммунально-бытовое водопотребление

Коммунально-бытовые потребности в воде оцениваются на основе уровня активности (население) и интенсивности использования воды (годовое водопользование на душу населения). Демографические факторы согласованы между моделями WEAP и LEAP.

Историческая численность населения (1970-2021 гг.) по отдельным областям была взята из данных Национальных статистических агентств. Численность населения на каждом участке спроса WEAP оценивалась путем агрегирования соответствующих областей. Национальные прогнозы численности населения основаны на Всемирных демографических перспективах ООН (World Population Prospects 2019). Для каждой страны к каждой области применялись одинаковые темпы роста.

Годовые показатели водопользования были получены по потреблению воды в жилых помещениях на душу населения от ОЭСР (OECD 2020 год) (см. Таблица 3). Исходя из данных (Hunink, Lutz, and Droogers 2014), эффективное коммунально-бытовое водопотребление оценивается в 10%, что означает, что 90% воды возвращается в систему и доступно вниз по течению (см. Рисунок 4).

Таблица 3. Годовой уровень водопользования на душу населения

Страна	Годовое потребление воды на душу населения (м <sup>3</sup> /душу населения)
Казахстан	48.6
Кыргызская Республика	32.6
Таджикистан	83.3
Узбекистан	86.3

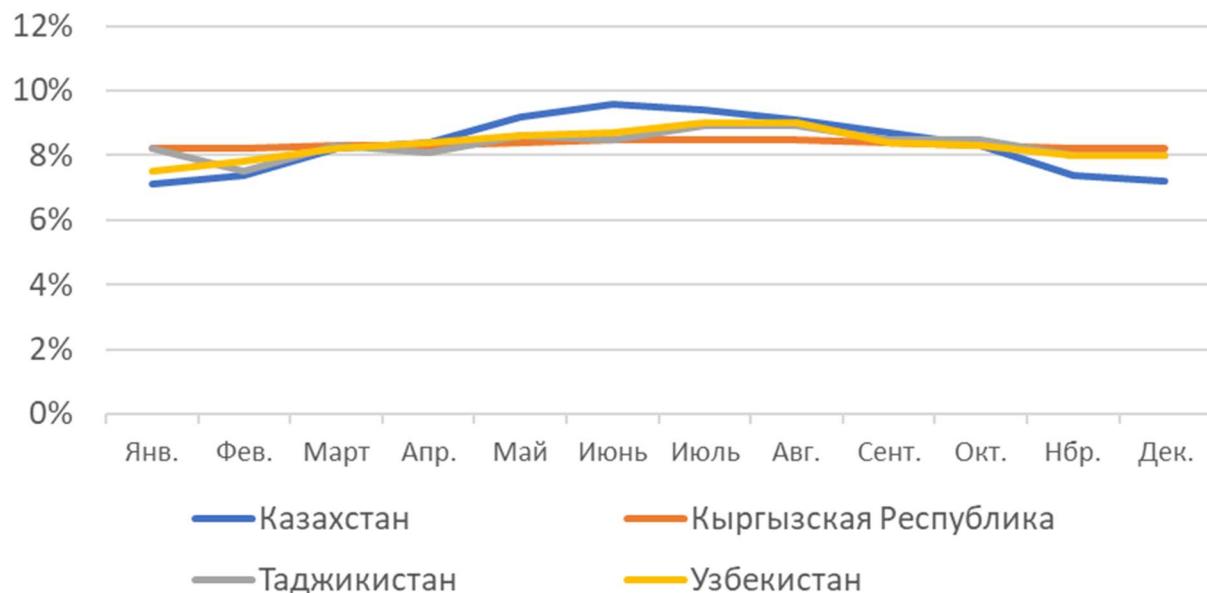


Рисунок 5. Ежемесячная доля годовой потребности в коммунально-бытовом водопотреблении

Исторические потребности в воде, рассчитанные в модели WEAP ниже, чем заявленные потребности в воде по данным сайта CAWater-Info.net, особенно в Узбекистане (см. Рисунок 5). Результаты расчетов в модели WEAP отражают исторические показатели численности населения и водопользования по данным ОЭСР (OECD, 2020). Для Узбекистана годовое потребление воды для коммунально-бытовых нужд на душу населения, рассчитанное на основе данных сайта CAWater-Info.net (1980-1995 гг.), находится в диапазоне 207-180 м<sup>3</sup>/чел. по сравнению с 86,3 м<sup>3</sup>/чел., о котором сообщает ОЭСР (OECD, 2020).

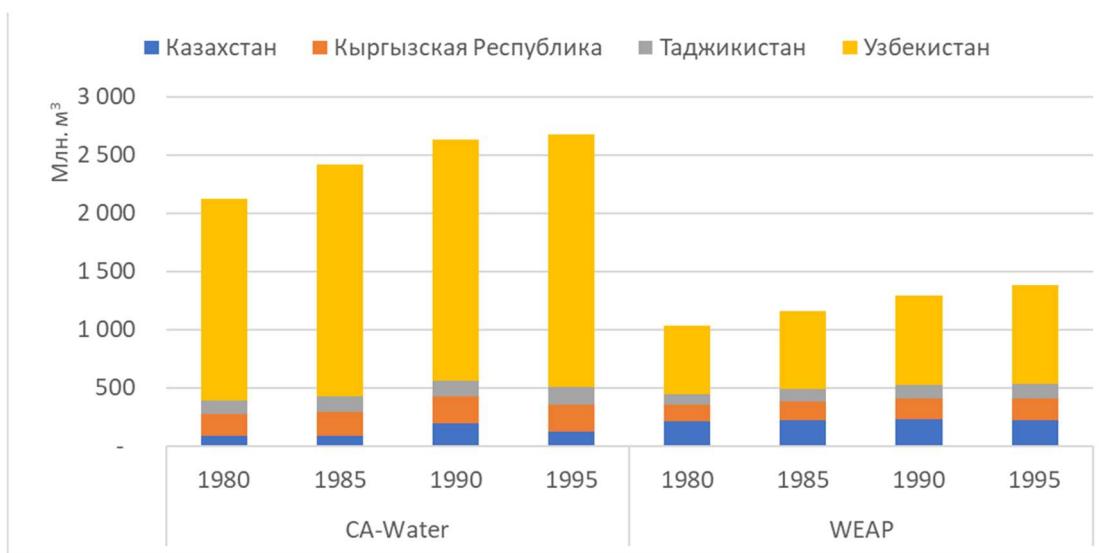


Рисунок 6. Исторические коммунально-бытовые потребности в воде в бассейне р. Сырдарья

### 1.4.3 Промышленность

Промышленные потребности в воде оцениваются на основе уровня активности (промышленная добавленная стоимость) и водоемкости производства (годовое водопользование на единицу промышленной добавленной стоимости). Водозаборы для охлаждения электростанций включены в промышленные потребности в воде (т.е. на данный момент отдельные тепловые электростанции отдельно не представлены). Макроэкономические показатели согласованы между моделями WEAP и LEAP.

Исторический ВВП (2020 USD) и промышленная добавленная стоимость (%) для каждой страны были получены от национальных статистических агентств и Всемирного банка. ВВП и отраслевая добавленная стоимость прогнозируются на основе «Перспектив развития мировой экономики» (World Economic Outlook 2021) и экстраполяции исторических тенденций. Вклад каждой области в национальную промышленную добавленную стоимость оценивался на основе валового регионального продукта в разбивке по видам экономической деятельности, представленного в данных национальных статистических агентств и в других международных источниках. Добавленная стоимость промышленности на каждом участке спроса WEAP оценивалась путем агрегирования соответствующих данных по областям.

Годовое водопотребление на единицу промышленной добавленной стоимости (м3/\$) оценивалось на основе промышленного водозабора по данным Aquastat (2022) (см. Таблица 4). На основе данных Aquastat (2022) эффективное потребление промышленности оценивается в 5% (см. Рисунок 6).

Таблица 4. Годовой уровень промышленного водопотребления

Страна	Годовое промышленное потребление воды на единицу промышленной добавленной стоимости
Казахстан	0.097
Кыргызская Республика	0.166
Таджикистан	0.795
Узбекистан	0.158

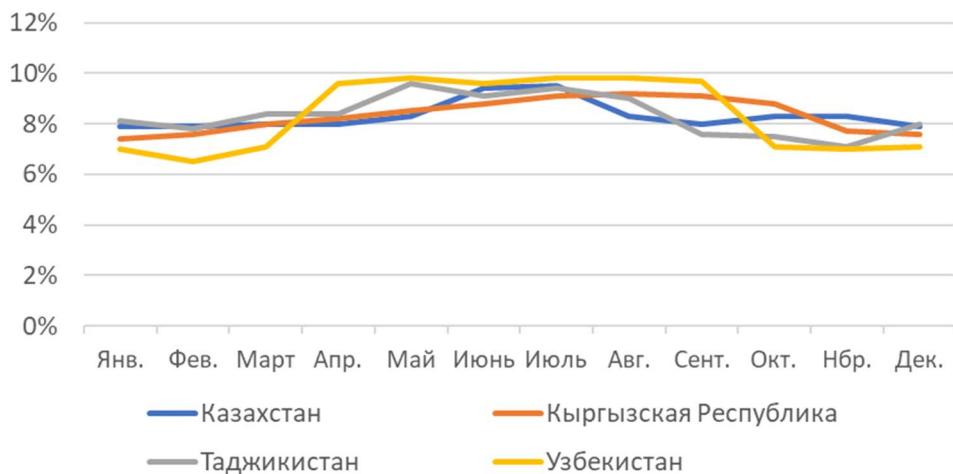


Рисунок 7. Ежемесячная доля годового спроса на промышленное водопотребление

Исторические потребности в воде в модели WEAP ниже, чем заявленные потребности в воде по данным сайта CAWater-Info.net, особенно в Узбекистане (см. Рисунок 7). Результаты расчетов в модели WEAP отражают исторический ВВП и промышленную добавленную стоимость, а также темпы водопользования по данным AQUASTAT (2022). Для Узбекистана годовое потребление воды в промышленности на единицу промышленной добавленной стоимости, рассчитанное по данным сайта CAWater-Info.net (1980-1995 гг.), находится в диапазоне 1,1-1,4 м<sup>3</sup>/долл. США, по сравнению с 0,158 м<sup>3</sup>/долл. США рассчитанное на основе данных AQUASTAT (2022).

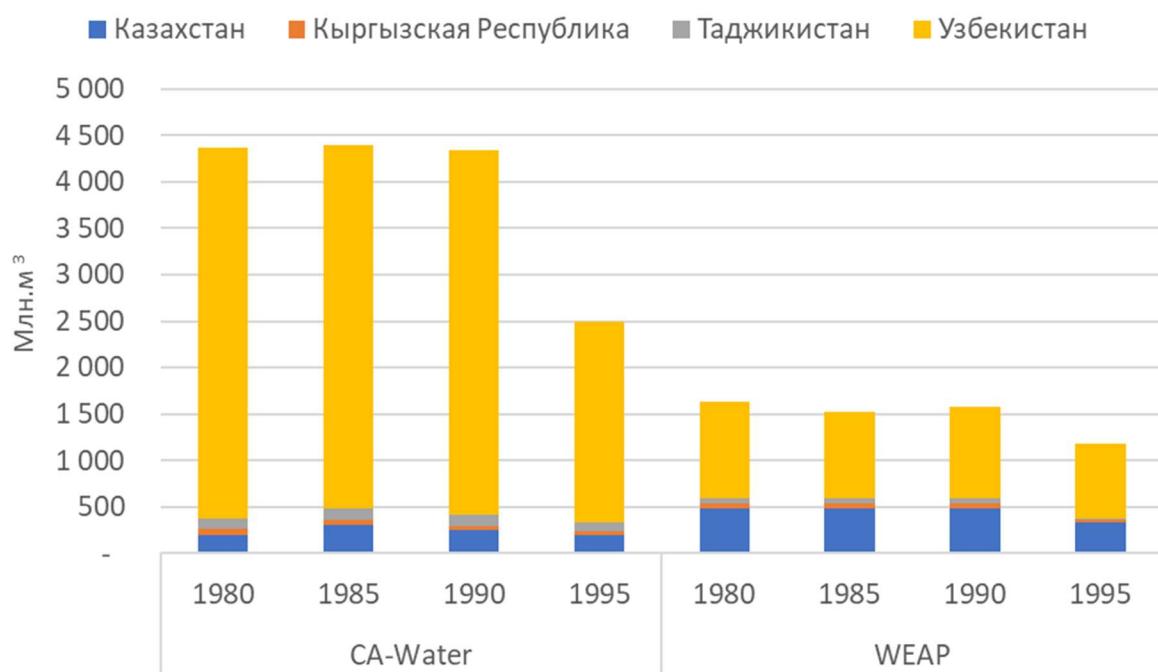


Рисунок 8. Исторические потребности в воде на промышленные нужды в бассейне р. Сырдарья

#### 1.4.4 Сельское хозяйство

##### 1.4.4.1 МАБИА

Для лучшего представления сельскохозяйственного сектора в модели был использован метод МАБИА для определения потребностей в сельскохозяйственных культурах. Пакет МАБИА-WEAP позволяет на ежедневной основе моделировать эвапотранспирацию, потребности в орошении и другие климатические и специфические для сельскохозяйственных культур переменные. Метод позволяет оценить эталонную эвапотранспирацию ( $ET_{ref}$ ) и влагоемкость почвы. Одним из основных усовершенствований при внедрении МАБИА является использование метода двойного коэффициента урожайности ( $K_c$ ).  $K_c$  делится на две составляющие: базовый коэффициент урожая,  $K_{cb}$  и коэффициент выражения факторов испарения,  $K_e$ . Такое разделение транспирации и испарения позволяет представить фактические условия эвапотранспирации  $ET$  на сухой поверхности с достаточной влажностью корневой зоны.

Коэффициенты урожайности оценивались для каждой культуры и месяца на основе типичных дат посадки и стадий выращивания (вегетации) культуры (см. Рисунок 8). Основными источниками данных являются документ ФАО "Иrrигация и дренаж 56" (FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Allen et al. 1998), региональное исследование для Центральной Азии (Liu, Luo, and Wang 2020) и база данных ФАО "Календари орошаемых культур" (Irrigated Crop Calendars Database from FAO. AQUASTAT, 2022). Для категорий культур, которые группируют несколько культур, репрезентативная культура была выбрана на основе общей площади, собранной по отдельным культурам в этой категории (см. Таблица 5).

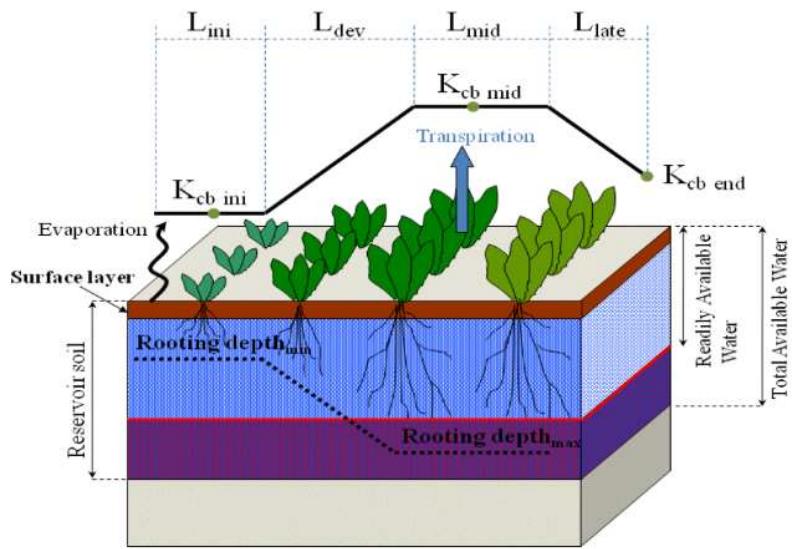


Рисунок 9. Концептуальная иллюстрация MABIA, показывающая рост корней и изменение коэффициентов урожайности ( $K_{cb}$ ) в течение вегетационного периода

Подробная информация о валидации модели WEAP-MABIA представлена в Приложении 2.Д

Таблица 5. Коэффициенты урожайности (Kс) и календари культур

Категория с/х культуры в WEAP	Kс			Продолжительность этапа (стадии роста)					Планируемые даты	Репрезентативные с/х культуры	
	Kс нач.	Kс период быстрого роста	Kс средний	Kс на конец сезона	Начальный	Развитие	Середина сезона	Поздний			
Яблоки	0,75	0,95	1,15	0,80	20	70	120	60	270	15 мар	Яблоки, Вишня, Груши
Ячмень	0,35	0,75	1,15	0,45	15	24	45	24	108	15 апр	Яровая пшеница/ячмень/овес
Кукуруза	0,40	0,80	1,15	0,70	19	34	40	30	123	1 июн	Кукуруза
Хлопок	0,45	0,75	1,15	0,75	30	50	55	45	180	10 апр	Хлопок
Виноград	0,15	0,48	0,80	0,40	20	50	75	60	205	15 мар	Виноград(таблица)
Масличные семена и бобовые	0,15	0,63	1,10	0,25	25	35	45	25	130	1 мая	Подсолнух
Другие культуры	0,15	0,63	1,10	0,25	25	15	35	20	95	15 июн	Фасоль (сухая)
Другие злаки	0,35	0,75	1,15	0,45	15	24	45	24	108	15 апр	Яровая пшеница/ячмень/овес
Другие сады	0,75	0,93	1,10	0,80	20	70	120	60	270	15 мар	Абрикосы, Персики, Косточковые фрукты
Картофель	0,15	0,63	1,10	0,65	25	30	45	30	130	15 мая	Картофель
Рис	1,05	1,10	1,20	0,80	30	30	61	29	150	10 мая	Рис
Сахарная свекла	0,15	0,65	1,15	0,50	35	60	70	40	205	1 ноя	Сахарная свекла
Овощи	0,15	0,55	0,95	0,95	20	35	110	45	210	1 окт	Лук(сухой)
Арбузы и тыква	0,15	0,55	0,95	0,70	10	20	20	30	80	15 мая	Арбузы
Пшеница (яровая)	0,35	0,75	1,15	0,45	15	24	45	24	108	15 апр	Яровая пшеница/ячмень/овес
Пшеница (озимая)	0,35	0,75	1,15	0,45	170	30	54	30	284	1 окт	Озимая пшеница

#### 1.4.4.2 Категории с/х культур

15 категорий культур, перечисленных выше в Таблица 5, отражают наиболее важные культуры в каждой стране и в то же время согласуются с категориями культур, представленными национальными статистическими агентствами и международными источниками данных, такими как ФАО и CAWater-info.net.

Дополнительную информацию о категориях сельскохозяйственных культур можно найти в Приложении С.

#### 1.4.4.3 Посевные площади

Для каждой страны данные о площадях посевов по видам культур и по годам (1995-2020 гг.) были получены из базы данных FAOSTAT (2022 г.). Сельскохозяйственные угодья в разбивке по культурам были распределены по каждому участку спроса WEAP на основе статистических данных на уровне областей, предоставленных национальными статистическими агентствами и сайтом CAWater- info.net.

Общая орошаемая площадь в бассейне реки Сырдарья за исторический период с 1995 по 2020 год показана для шести регионов спроса ниже Рисунок 9. По состоянию на 2020 год общая орошаемая площадь в пределах бассейна составляла примерно 3,314 млн га. Узбекистан с 42 процентами занимал наибольшую долю орошаемых площадей, за ним следуют Казахстан (36 процентов), Кыргызская Республика (12 процентов) и Таджикистан (10 процентов).

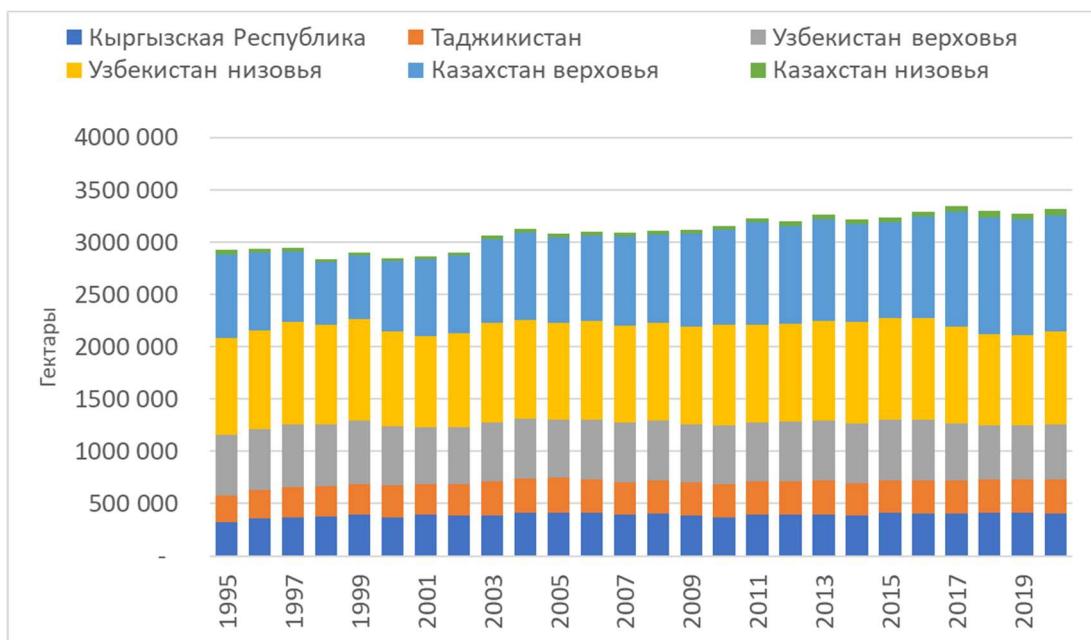


Рисунок 10. Общая посевная площадь в бассейне р. Сырдарья по регионам спроса

Эти же данные представлены Рисунок 10 по типам культур. Эти данные показывают, что пшеница составляет наибольшую долю площади в 31 процент, за ней следуют хлопок (22 процента), масличные семена и бобовые (10 процентов), ячмень (7 процентов), овощи (6 процентов) и все другие, имеющие четыре процента или менее от общей площади.

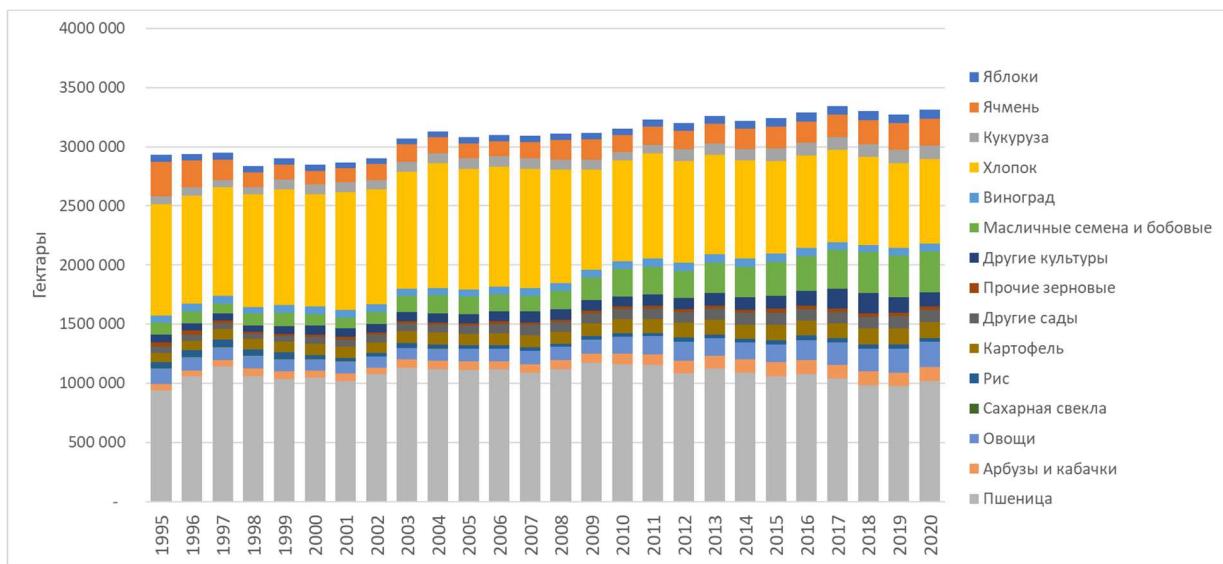


Рисунок 11. Общая посевная площадь в бассейне р. Сырдарья по культурам

#### 1.4.4.4 Потенциальная эвапотранспирация

Эталонная эвапотранспирация представляет собой оценку ЕТ с эталонной поверхности, которая является гипотетической, предполагающей конкретные характеристики сельскохозяйственных культур и поверхностей (Allen et al., 1998). MABIA оценивает  $ET_{ref}$  с использованием уравнения ФАО Пенмана-Монтейта. Такой подход требует ежедневных климатических данных, которые представляют регион исследования. Эти данные были получены от Исследовательской группы по наземной гидрологии в Принстонском университете (Terrestrial Hydrology Research Group at Princeton University), которая предоставляет привязанный к сетке набор данных (Грид-данные или gridded dataset) с поправкой на смещение, уменьшенных данных, построенных на основе набора данных глобальных наблюдений (Sheffield et al., 2006).

#### 1.4.5 Другие основные предположения

Модель предполагает, что все обрабатываемые земли орошаются из поверхностных источников воды. Перспективные сценарии не предполагают никаких изменений в посевных площадях. Мультикультуры не рассматриваются.

### 1.5 Водные ресурсы (источники воды)

#### 1.5.1 Климат

Модель WEAP для бассейна реки Сырдарья была разработана и откалибрована на основе реконструкции исторических климатических данных за 1948-2008 годы, разработанной Исследовательской группой по наземной гидрологии при Принстонском университете (Sheffield et al., 2006). Эти данные включают климатические последовательности суточных значений температуры и осадков, пространственно осредненных для каждого гидрологически связанного водосбора. Эти данные были агрегированы до месячных значений для расчета гидрологии бассейна, а также послужили базовым климатом для сценарного анализа, в котором они обозначены как *исторические климатические условия*.

### 1.5.2 Ледники

Модель WEAP включает дополнительный модуль ледников, который позволяет учитывать накопление и таяние льда на поверхности суши. Этот модуль был использован для отслеживания изменений толщины и объема льда в верховьях бассейна реки Сырдарья.

Для задания начальных условий для ледников использовалась программа Randolph Glacier Inventory 6.0 (2017). Площадь ледников определялась на основе данных о снеге и льде в наборе данных о почвенно-растительном покрове ESA. Толщина льда увеличивается или уменьшается по мере превращения старого снега в лед или таяния существующего льда. Не растаявший снег превращается в лед. Лед тает только в том случае, если его не покрывает снег и температура выше порогового значения. Ледники оценивались по таким показателям, как глубина, объем, таяние и аккумуляция.

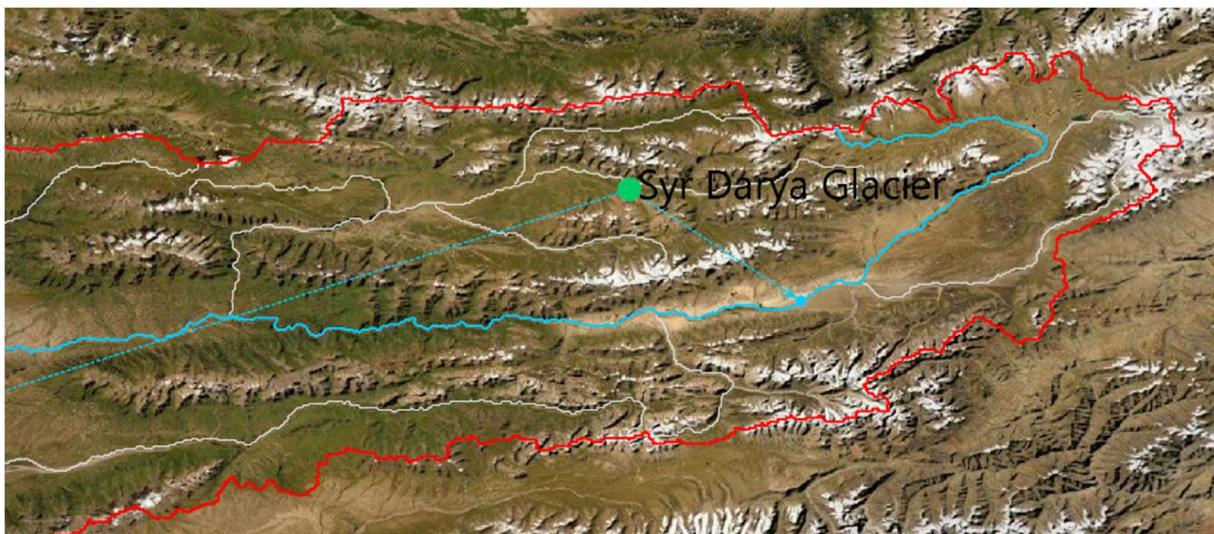


Рисунок 12. Представление ледников в бассейне р. Сырдарья в WEAP (снимок экрана интерфейса модели WEAP)

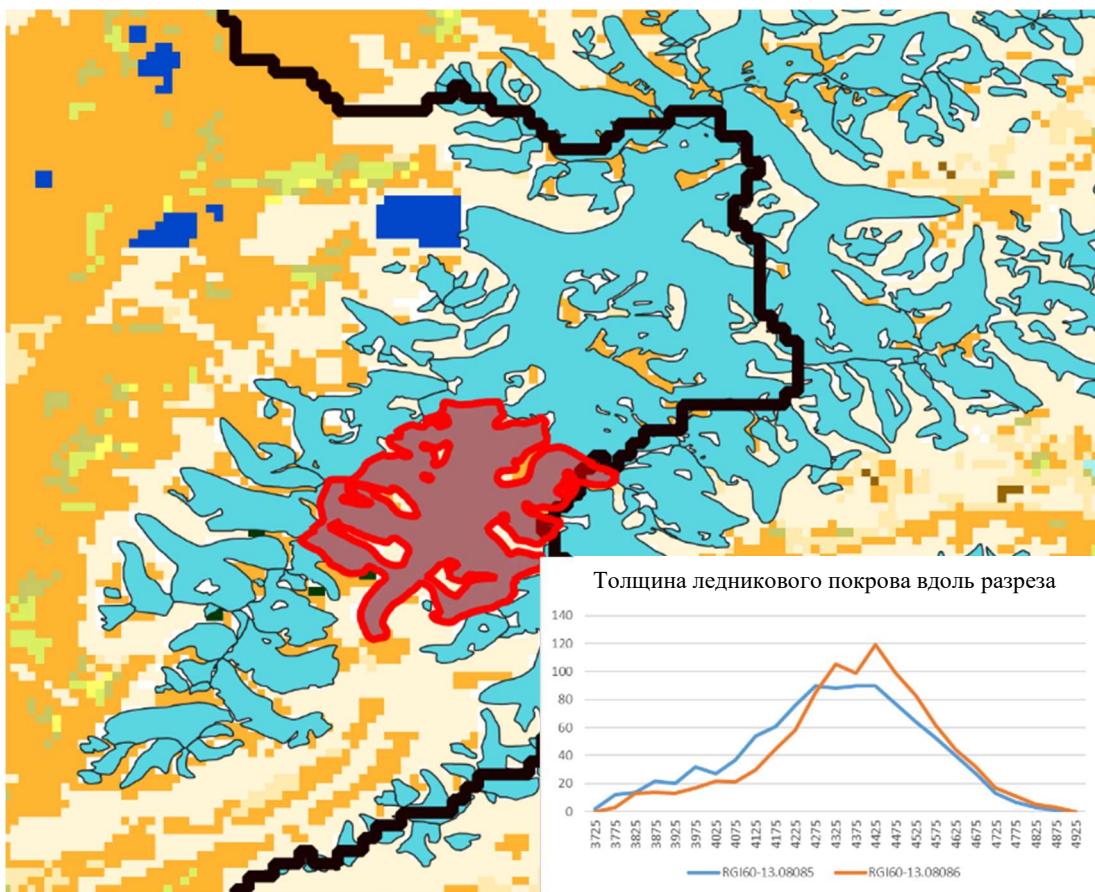


Рисунок 13. Толщина ледникового покрова в басс.р.Сырдарья вдоль высотного трансекта (разреза) (снимок экрана интерфейса в ArcGIS)

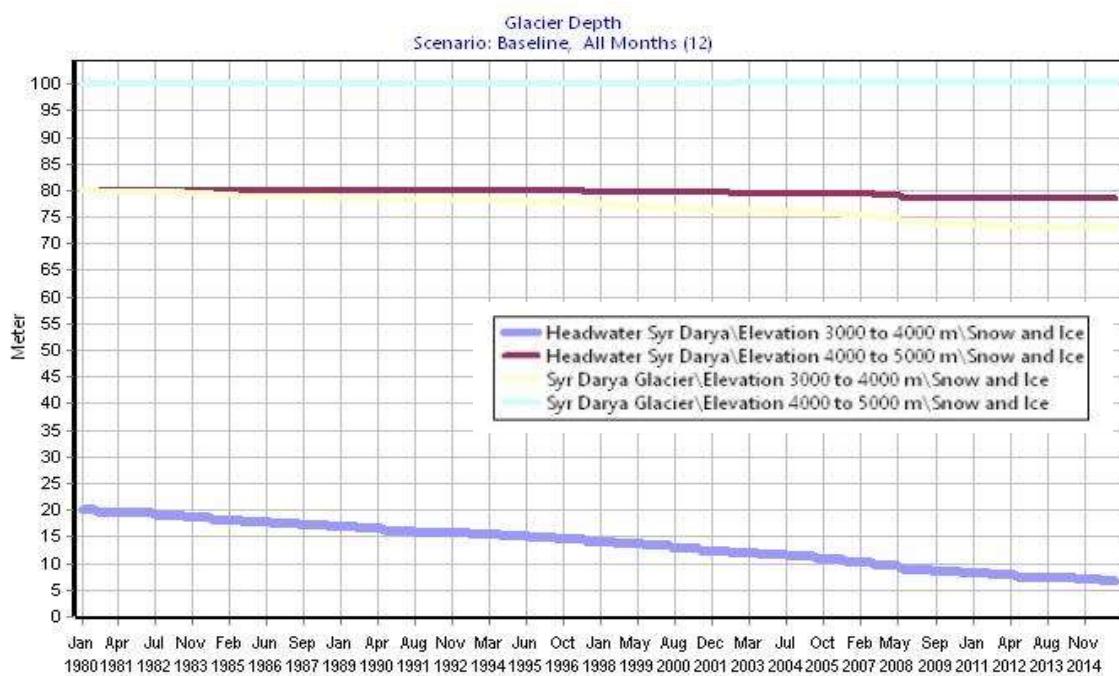


Рисунок 14. Толщина ледникового покрова в басс.р.Сырдарья в базовом сценарии 1980 - 2014 гг. (снимок экрана интерфейса модели WEAP)

Температура таяния льда (см. Рисунок 14) и коэффициент радиации были скорректированы для калибровки таяния ледников в соответствии с наблюдаемым речным стоком. На Рисунке 16 показаны наблюдаемые и смоделированные притоки в Токтогул с помощью WEAP с ледниками и без них. Установлено, что WEAP с учетом ледников улучшает характеристики модели при моделировании речного стока, особенно падающей части гидрографа (см. Рисунок 15).

Elevation 4000 to 5000 m	2020	Scale	Unit
Agriculture	1		C
Forest	1		C
Grassland	1		C
Shrubland	1		C
Barren or Sparse Vegetation	1		C
Snow and Ice	Other\Snow and Glaciers\TF[C]		C

Рисунок 15. Температура таяния льда в модели WEAP (снимок экрана интерфейса модели WEAP)



Рисунок 16. Сравнение WEAP с ледниками и без них для моделирования притока в Токтогул

### 1.5.3 Сток воды, образующийся за счет осадков (тало-дождевой сток)

Для модели WEAP бассейна реки Сырдарья было выделено 15 подводосборных бассейнов, представляющих пространственную протяженность основных притоков и участков реки Сырдарья. Они были разделены на уникальный набор независимых классов землепользования/почвенно-растительного покрова на основе карт почвенно-растительного покрова (Европейское космическое агентство - European Space Agency, 2017).

Карта растительного покрова показывает, что на более низких высотах (от нуля до 2000 м) преобладает орошающее земледелие, занимающее около 75% площади от нуля до 1000 м и 43% площади от 1000 до 2000 м (см. Рисунок 17 ниже). Леса и луга становятся все более преобладающими по мере увеличения высоты над уровнем моря примерно до 5000 м. Выше 5000 м основными классами земель являются луга (47%), пустыни (46%) и снег и лед (7%). Эти данные свидетельствуют о том, что гидрологический режим в бассейне контролируется различными типами почвенно-растительного покрова, что и было учтено при калибровке. Подробная информация о калибровке гидрологической модели представлена в Приложении 2.Е.

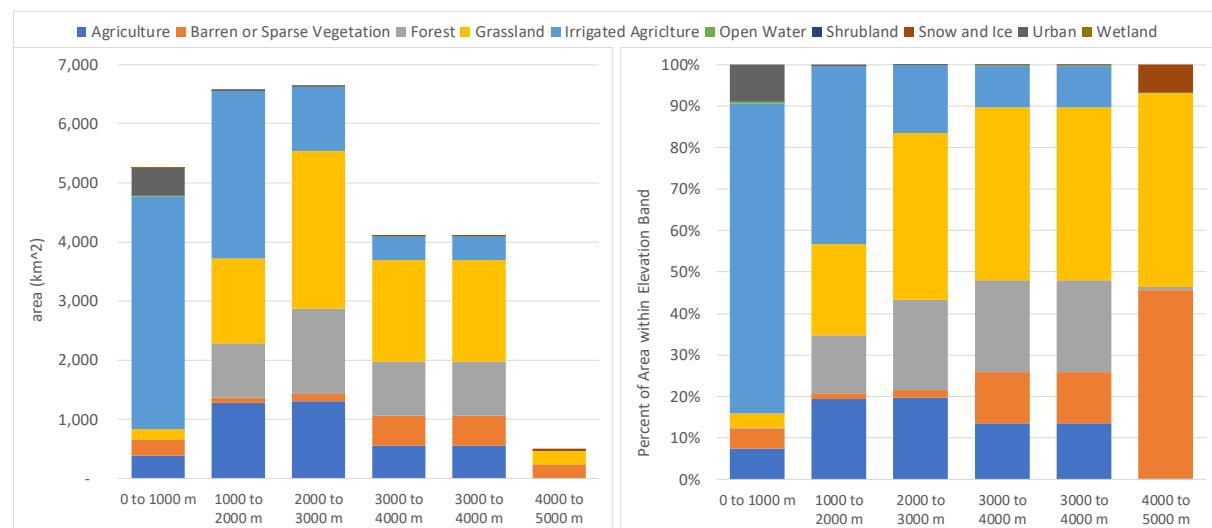


Рисунок 17. Почвенно-растительный покров в пределах каждой высотной зоны (в км<sup>2</sup> и в % от общей площади)

## 1.6 Гидроэнергетика

Модель WEAP может быть использована для оценки выработки гидроэлектроэнергии в бассейне, причем рассматриваются как гидроэлектростанции с постоянным напором (т.е. расположенные в русле реки), так и с переменным напором (т.е. генерируемые в виде попусков из водохранилища). Выработка гидроэлектроэнергии рассчитывается на основе расхода, проходящего через турбину, исходя из сброса из водохранилища или расхода воды в реке, и ограничивается максимальной пропускной способностью турбины. Количество вырабатываемой энергии зависит от массы воды, проходящей через турбины, умноженной на перепад высот (т.е. напор), а также от КПД турбины и коэффициента использования установки (процент времени работы), которые вводятся в качестве исходных данных.

Модель WEAP для Сырдарьи включает в себя следующие существующие и планируемые объекты:

№ п/п	Гидроэнергетический объект	Установленна я мощность	
		2020	2035
1.	Ахангаранское водохранилище	21	21
2.	Андижанское водохранилище	190	190
3.	Ат Баши	40	44
4.	Чарвакский каскад	905	905
5.	Чирчикский каскад	191	191
6.	Фархадское водохранилище	126	126
7.	Камбарата II	120	360
8.	Камбарата I	0	1860
9.	Кайраккумское водохранилище	126	174
10.	Казарман	0	1160
11.	Кокмерен	0	1305
12.	Курпсай	824	824
13.	Папанское водохранилище	24	24
14.	Шардаринское водохранилище	126	126
15.	Ташкумырский каскад	870	906
16.	Токтогульское водохранилище	1228	1440
17.	Верхний Нарын	0	238
	Сумма	4,791	9,893

## 2 Реализация сценариев в WEAP

С помощью модели WEAP для бассейна реки Сырдарья было рассмотрено шесть тематических сценариев. В их число вошли базовый сценарий, отражающий текущие условия и правила управления водными и энергетическими ресурсами в бассейне, и пять сценариев, рассматривающих возможные изменения в управлении ресурсами в будущем. После базового сценария были разработаны три сценария (под номерами 2, 3 и 4), в которых учитывались национальные планы в области водных ресурсов, сельского хозяйства и энергетики при сохранении статус-кво в распределении ресурсов между странами бассейна. В последних двух сценариях (пронумерованных 5 и 6) рассматривалось, как могут измениться целевые показатели каждой страны, касающиеся водных ресурсов, сельского хозяйства и энергетики, если ресурсы будут более легко и свободно распределяться между странами. Начальная точка каждого последующего сценария использует сценарий, который ему предшествует, так что сценарий 2 включает все допущения моделирования, сделанные в сценарии 1, сценарий 3 включает все допущения моделирования, сделанные в сценарии 2, и т. д. Реализация этих сценариев сведена в

Таблица 6 ниже и описана в следующих разделах.

Таблица 6. Сводная таблица сценариев развития в модели WEAP

Сценарий	Гидроэнергетика	Сельское хозяйство	Распределение воды	Экосистемы
S1: Базовый	Увеличение мощности 4 ГЭС	Площади сельхозугодий зафиксированы на уровне 2020 г.; урожайность соответствует прошлым трендам	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S2: Национальный фокус (интересы)	Условия Базового сценария плюс 4 новые ГЭС	Условия Базового сценария плюс переход на более коммерчески ценные культуры в Казахстане и Узбекистане	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S3: Усовершенствование водных и сельскохозяйственных практик, систем методов	Условия Базового сценария плюс 4 новые ГЭС	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S4: Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов	На основе выводных данных модели LEAP	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Осуществляется согласно национальным приоритетам	Низший приоритет
S5: Международное (региональное) сотрудничество	На основе выводных данных модели LEAP	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Плотины в верхней части бассейна функционируют с учетом удовлетворения всех потребностей в его нижней части	Низший приоритет
S6: Восстановление экосистем	На основе выводных данных модели LEAP	Условия Сценария №2 плюс инвестиционные проекты с целью повышения эффективности водопользования и повышения урожайности	Плотины в верхней части бассейна функционируют с учетом удовлетворения всех потребностей в его нижней части	Высший приоритет

## 2.1 Сценарий 1 (S1): Базовый уровень

Данный сценарий можно также назвать «консервативным» (business-as-usual). Большинство условий модели WEAP являются фиксированными, однако внутренний спрос продолжает меняться с увеличением численности населения, как прогнозирует Департамент ООН по экономическим и социальным вопросам (2019), а промышленный спрос растет с ожидаемым ростом ВВП согласно допущениям Макроэкономической модели. Модель WEAP в данном сценарии также учитывает расширение гидроэнергетики в Токтогуле с 1228 до 1436 МВт, в Ташкумыре с 870 906 МВт, в Ат Баши с 40 до 44 МВт и в Камбарате II с 120 до 159 МВт.

## 2.2 Сценарий 2 (S2): Национальный фокус (интересы)

Данный сценарий «унаследовал» и расширяет Сценарий №1. Согласно ему предполагается, что каждая страна бассейна будет осуществлять свои собственные программы по эксплуатации водных, сельскохозяйственных и энергетических ресурсов. Это включает наращивание гидроэнергогенерации в Кыргызской Республике за счет строительства Камбаратинской ГЭС-1 (1860 МВт), Верхне-Нарынского каскада (237,7 МВт), Кокмеренского каскада (1305 МВт), Казарманского каскада (1160 МВт), каждый из которых введен в модель в 2030 году. В данном сценарии также учтены заявленные цели как Узбекистана, так и Казахстана по увеличению доли сельского хозяйства в их ВВП. В модели WEAP это было представлено как переход от пшеницы как основной культуры к более ценной культуре - фруктовым садам. При моделировании предполагалось, что к 2050 году в обеих странах 50 % существующих земель, занятых под пшеницу, будут заняты фруктовыми садами.

## 2.3 Сценарий 3 (S3): Усовершенствование водных и сельскохозяйственных практик, систем, методов

Этот сценарий предполагает, что страны бассейна реки Сырдарья сосредоточатся на совершенствовании методов ведения сельского хозяйства, которые приводят к более эффективному использованию водных ресурсов. Восстанавливаются и модернизируются ирригационные системы, внедряются новые культуры и схемы земледелия, а также внедряются водосберегающее оборудование и технологии в больших масштабах. Об этом свидетельствуют национальные планы развития каждой страны.

Казахстан стремится расширить посевные площади под капельным орошением, а также увеличить урожайность сельскохозяйственных культур не менее чем на 10 процентов к 2030 году. В рамках модели WEAP это было представлено повышением эффективности орошения от 55 до 80 процентов для садов, от 55 до 70 процентов для риса и от 65 до 80 процентов для овощей. Фактор роста был применен ко всем культурам таким образом, что к 2030 году урожайность увеличится на 10 процентов по сравнению с уровнем 2020 года.

Кыргызская Республика стремится увеличить количество обрабатываемых земель на четыре процента и добавить 487 миллионов кубометров дополнительных емкостей (водохранилищ) для орошения к 2030 году. В рамках модели WEAP расширение посевных площадей было применено единообразно для всех культур, и в 2030 году было введено дополнительное накопление воды в водохранилищах.

Таджикистан стремится удвоить продуктивность использования воды в сельском хозяйстве в орошаемых системах, одновременно увеличив посевные площади на 10 процентов. Повышение продуктивности использования воды может быть достигнуто за счет сочетания внедрения усовершенствованных технологий орошения, сокращения потерь и улучшения сортов сельскохозяйственных культур. Модель WEAP считает, что к 2030 году Таджикистан увеличит потенциальную урожайность сельскохозяйственных культур на 10 процентов и сократит потери в каналах на 25 процентов, а также повысит общую эффективность орошения садов с 55 до 65 процентов, овощей с 65 до 70 процентов, зерновых с 55 до 60 процентов и риса с 55 до 60 процентов. Расширение в посевных площадях применялось равномерно для всех культур.

Узбекистан стремится расширить посевные площади на десять процентов, одновременно повышая продуктивность сельскохозяйственной воды за счет сокращения потерь в каналах, повышения эффективности орошения, изменения структуры посевов и применения методов ведения сельского хозяйства, способствующих повышению урожайности.

Цель повышения продуктивности будет, по крайней мере, частично достигнута путем перевода половины площади, используемой в настоящее время для выращивания пшеницы, под сады, как описано в Сценарии 2. Дополнительные меры включают в себя сокращение потерь при транспортировке на 25 процентов и увеличение потенциальной урожайности на пять процентов к 2030 году, а также повышение эффективности орошения садов (с 55 до 75 процентов к 2030 году), овощей (с 65 до 80 процентов к 2030 году), зерновых (с 55 до 75 процентов к 2030 году) и риса (с 55 до 75 процентов к 2030 году).

#### **2.4 Сценарий 4 (S4): Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов**

Этот сценарий был сосредоточен главным образом на допущениях в рамках модели LEAP. И как таковой, он не требовал каких-либо изменений в модели WEAP.

#### **2.5 Сценарий 5 (S5): Международное (региональное) сотрудничество**

Этот сценарий добавляет предположения о расширении международного сотрудничества по водным, энергетическим и сельскохозяйственным вопросам. В нем рассматриваются выгоды, которые могут быть достигнуты за счет улучшения трансграничной координации и обмена ресурсами в этих секторах. Это представлено в модели WEAP путем изменения структуры приоритетов, представленной в

Таблица 6. Теперь вместо того, чтобы использовать двухуровневую структуру, основанную на местоположении в бассейне и секторе водопользования, приоритеты устанавливаются на основе только сектора водопользования, так что бытовое водопользование имеет наивысший приоритет, за которым следуют гидроэнергетика, ирригация и промышленность (которые разделяют тот же приоритет), водохранилища и, наконец, экосистемы.

#### **2.6 Сценарий 6 (S6): Восстановление экосистем**

В последнем сценарии предполагается, что минимальные требования к стоку, необходимые для поддержания экологического состояния Северного Аральского Моря, удовлетворены. Это достигается в WEAP путем корректировки структуры приоритетов, использованной в Сценарии 5. Теперь наибольший приоритет отдается коммунально-бытовому водопользованию, затем следуют экосистемы, гидроэнергетика, орошение и промышленность, и, наконец, водохранилища. Требования к стоку были установлены на границе между каждой страной и были установлены с использованием метода сдвига кривой продолжительности потока (FDC), который учитывает степень, в которой первоначальное экологическое состояние реки было изменено по сравнению с ее естественным эталонным состоянием. Этот метод учитывает пять классов экологического менеджмента (EMC):

- Класс А = естественные (неизмененные) условия; охраняемые реки и их одосборные бассейны, заповедники и национальные парки с незначительными изменениями внутриверечной и прибрежной среды обитания, где не допускаются строительство новых плотин или водозаборов;
- Класс В = в основном естественные, природные условия; слабо измененные и/или экологически значимые реки, на которых допускается создание небольших схем водоснабжения;

- 
- Класс С = умеренно измененные экосистемы, где изменения таковы, что в целом оказывают ограниченное воздействие на целостность экосистемы, хотя чувствительные виды подвергаются воздействию;
  - Класс D = значительно измененные экосистемы, где чувствительная биота, в частности, сокращается по численности и в пространстве и где структура местных сообществ существенно, но приемлемо изменена;
  - Класс Е = сильно измененные экосистемы, находящиеся в плохом состоянии, где большая часть функций и услуг экосистемы утрачена. Этот класс считается неприемлемым с точки зрения управления, поскольку он представляет экосистемы, которые используются неустойчиво и нерационально.

Требования к стоку были сконфигурированы с использованием класса D экологического менеджмента.

## Приложение 2.А. Источники данных

### Источники данных о спросе на воду

- **Национальные статистические агентства:**
  - Исторические данные о населении, ВВП, добавленной стоимости, валовом региональном продукте, сельскохозяйственных угодьях по культурам и областям
  - Бюро Национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан (2021); Национальный статистический комитет Кыргызской Республики (2021); Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан (2021); Государственный комитет по статистике Республики Узбекистан (2022)
- **CAWater-info.net**
  - Исторические (1980-1995 годы) ежемесячные водозaborы в разбивке по секторам экономики и по областям
  - Исторический валовой региональный продукт по видам экономической деятельности
  - Исторические сельскохозяйственные угодья по культурам и областям
- **Демографические и макроэкономические факторы:**
  - *Население:* Всемирные демографические перспективы ООН (UN World Population Prospects. 2019)
  - *Исторический ВВП:* ВВП Всемирного банка Текущий доллар США (World Bank GDP Current US\$. 2020)
  - *Прогнозы ВВП:* Перспективы мировой экономики МВФ (IMF World Economic Outlook 2021)
- **Интенсивность воды и фракции потребления**
  - Аквастат (2022), *Внутренний: ОЭСР. 2020. Обзор использования и управления водными ресурсами в Центральной Азии: дискуссионный документ / Aquastat (2022), Domestic: OECD. 2020. Overview of the Use and Management of Water Resources in Central Asia: A Discussion Document*
  - Хунинк, Д. Э., А. Лутц и. Другерс. 2014. Региональная оценка рисков для водообеспеченности и воздействия водного энергетического сектора в Центральной Азии. Отчет FutureWater: 196 / Hunink, J. E., A. Lutz, and P. Droogers. 2014. Regional Risk Assessment for Water Availability and Water-Related Energy Sector Impacts in Central Asia. FutureWater Report: 196
- **Сельское хозяйство**
  - Уборочные площади по культурам: ФАОСТАТ (FAOSTAT. 2022)
  - Коэффициенты урожайности и календари с/х культур:

- Аллен, Ричард Г., Луис С. Переира, Дирк Раес и Мартин Смит. 1998. Эвапотранспирация сельскохозяйственных культур - Руководство по расчету потребностей сельскохозяйственных культур в воде - Документ ФАО по орошению и дренажу 56. Рим, Италия: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций / Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, and Martin Smith. 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Лю, Шуан, Гепин Ло и Хао Ван. 2020. «Временные и пространственные изменения эффективности водопользования сельскохозяйственных культур в Центральной Азии с 1960 по 2016 год». Устойчивость 12(2):572 / Liu, Shuang, Geping Luo, and Hao Wang. 2020. "Temporal and Spatial Changes in Crop Water Use Efficiency in Central Asia from 1960 to 2016." Sustainability 12(2):572.
- ФАО. 2022. «GIEWS - Глобальная система информации и раннего предупреждения - Страновые сводки» / FAO. 2022. "GIEWS - Global Information and Early Warning System - Country Briefs."
- ФАО. 2022. «АКВАСТАТ - База данных календарей орошаемых культур» / FAO. 2022. "AQUASTAT - Irrigated Crop Calendars Database."
  - Эффективность орошения: Духовный и Шуттер (2011). *Вода в Центральной Азии*
  - Нормы водопотребления сельскохозяйственных культур (м3/га): Духовный и Шуттер (2011). *Вода в Центральной Азии*
- **Климатические данные**

Исследовательская группа по наземной гидрологии. Принстонский университет. Набор глобальных климатических данных высокого разрешения

## Приложение 2.В: WEAP

### Возможности системы

WEAP является интегрированным (комплексным) инструментом планирования водных ресурсов, который используется для представления текущих водохозяйственных условий на определенной территории и для изучения широкого спектра вариантов спроса и предложения на воду для обеспечения баланса между задачами охраны окружающей среды и развития экономики. WEAP широко используется для поддержки совместного планирования водных ресурсов, предоставляя общую аналитическую базу и систему управления данными для вовлечения заинтересованных сторон и лиц, принимающих решения, в открытый процесс планирования. В этих условиях WEAP используется для разработки и оценки различных сценариев, в которых рассматриваются как физические изменения в системе, например, строительство новых водохранилищ или трубопроводов, так и социальные изменения, например политика, влияющая на рост населения или структуру водопользования. Наконец, с помощью графического отображения результатов WEAP можно оценить последствия этих различных мер.

WEAP - это широко используемая платформа моделирования для изучения водной безопасности. В ней учитываются запасы и потребности, имеется множество встроенных моделей по гидрологии, качеству воды, подземным водам и климату. WEAP может связываться и с внешними моделями. Однако WEAP не предназначена, например, для построения гидравлических моделей трубопроводов и не является инструментом оптимизации, если он не связан с внешней платформой, такой как GAMS или Excel.

### Подход к моделированию

Разработка всех приложений WEAP осуществляется в соответствии со стандартным подходом, как показано на Рисунке 18. Первым шагом в этом подходе является *определение исследования (Study Definition)*, в котором определяется пространственная протяженность и системные компоненты интересующей области, а также задается временной горизонт анализа. Затем пользователь определяет компоненты системы (например, реки, сельскохозяйственные и городские потребности) и конфигурацию сети, соединяющей эти компоненты. После определения исследования определяются текущие счета, которые представляют собой базовое представление системы, включая существующие эксплуатационные правила для управления ресурсами и спросом. Текущие счета служат отправной точкой для разработки сценарных описаний, которые характеризуют альтернативные наборы будущих предположений, относящихся к нормативам, инфраструктуре, спросу на воду и ее поставкам. Наконец, сценарии оцениваются с точки зрения достаточности воды, затрат и выгод, совместимости с экологическими целями и чувствительности к неопределенности ключевых переменных. В данном контексте сценарии представляют собой оценку альтернативных вариантов управления водными ресурсами в неопределенных будущих условиях. Более подробно этапы аналитической последовательности описаны в следующих разделах.



Рисунок 18. Этапы разработки и применения модели WEAP

Одним из главных достоинств WEAP является ее гибкость в плане адаптации к потребностям конкретной водной системы. Начиная с *определения исследования*, WEAP может быть настроена для рассмотрения различных пространственных и временных масштабов. Она была использована для оценки суточных режимов водопотребления в масштабах муниципалитета в Бангалоре (Индия), а также для оценки воздействия долгосрочного изменения климата и его последствий для соглашений о трансграничном вододелении в бассейне реки Нил.

Эта гибкость распространяется на типы данных, которые используются для определения *текущих счетов (расчетов)*. Этот этап обычно начинается с определения запасов воды, которые могут быть введены в модель различными способами, включая постоянные притоки, считывание исторических значений стока из файлов или использование климатических входных данных для моделирования гидрологии водосборных бассейнов (т.е. осадки-сток, инфильтрация, подпитка грунтовых вод, взаимодействия поверхностных водотоков и подземных водоносных горизонтов и т.д.). Аналогичным образом, узлы (точки) спроса в WEAP могут быть созданы и настроены для рассмотрения широкого круга водопотребителей и водопользователей, включая коммунально-бытовые, промышленные, сельскохозяйственные, животноводческие, межбассейновые переброски и т. д. Кроме того, каждый тип водопользования может быть дезагрегирован (детали-зирован) для наилучшего представления динамики водопользования. Например, коммунально-бытовые потребности в водных ресурсах часто определяются на основе численности населения и норм водопотребления на душу населения. Однако в ситуациях, когда важно учитывать факторы, определяющие водопотребление в коммунально-бытовом секторе, можно дезагрегировать потребности таким образом, чтобы эти факторы (например, туалеты, душ, стиральные машины, полив на улице и т.д.) учитывались в явном виде. Это также характерно для сельскохозяйственных потребностей,

когда сельскохозяйственные площади могут быть разделены между различными типами культур, а типы культур могут быть дополнительно уточнены для отражения различных методов орошения.

Еще одним способом обеспечения гибкости WEAP является возможность связи с внешними моделями. Такая связь может быть либо "мягкой", когда модели запускаются независимо друг от друга, а затем происходит обмен выходными данными, которые становятся входными данными для другой модели, либо "динамической", когда модели запускаются параллельно, а данные передаются между моделями через регулярные интервалы времени в процессе моделирования.

## Настройка модели

Модели WEAP для представления водной системы строятся с использованием коллекции или набора объектов модели (Рисунок 18). Каждый объект является программируемым, что позволяет пользователям задавать правила, управляющие схемами подачи и использования воды.



Рисунок 19. Объекты модели в WEAP (снимок экрана интерфейса модели WEAP)

## Расчет в модели WEAP

На каждом временном шаге WEAP сначала рассчитывает гидрологический сток, который затем передается каждой отдельной реке. Затем производится распределение воды для данного временного шага, при этом ограничения, связанные с характеристиками водохранилищ и водораспределительной сети, экологическими нормами, а также приоритетами и предпочтениями точек спроса, используются для задания оптимизационной процедуры линейного программирования, которая максимизирует "удовлетворение" спроса в максимально возможной степени. Предполагается, что все потоки воды происходят мгновенно; таким образом, точка спроса может забирать воду из реки, потреблять ее и, по желанию, возвращать остаток в принимающий водоем на одном и том же временном шаге. В зависимости от топологии сети модель может распределять воду для удовлетворения любого конкретного спроса в системе без учета времени движения. Таким образом, временной шаг модели должен быть не меньше времени пребывания воды в исследуемом районе. По этой причине для данного исследования был принят месячный временной шаг.

## Распределение водных ресурсов (вододеление)

WEAP - это модель, ориентированная на спрос, которая использует иерархическую структуру приоритетов для определения порядка распределения запасов воды между различными водопотребителями. Две системы приоритетов, определяемые пользователем, используются для определения распределения запасов воды для удовлетворения потребностей (моделируемых как участки спроса и как объекты водосбора для целей ирригации),

потребностей в приточном стоке, а также для наполнения (или сработки) водохранилищ. К ним относятся: (1) приоритеты спроса на воду и (2) приоритеты предложения.

Приоритет спроса устанавливается для участка спроса, водосбора, водохранилища или потребности в стоке и может составлять от 1 до 99, причем 1 является наивысшим приоритетом, а

99 - наименьшим. Участки спроса могут иметь одинаковый приоритет, что полезно для представления системы прав на воду, в которой водопользователи определяются по их праву на воду и/или старшинству. В случае нехватки воды потребители с более высоким приоритетом удовлетворяются как можно полнее, прежде чем рассматриваются потребители с более низким приоритетом. Если приоритеты одинаковы, то дефицит будет распределяться поровну (в процентах от их потребностей в воде).

Когда участки спроса или водосборные бассейны подключены к нескольким источникам водоснабжения, предпочтения в выборе источника определяют порядок забора воды. Как и приоритеты спроса, предпочтениям в области водоснабжения присваивается значение от 1 до 99, причем меньшие числа означают предпочтительные источники воды. Распределение этих предпочтений обычно отражает экономические, экологические, исторические, правовые и/или политические реалии. Если предпочтительный источник воды недостаточен для удовлетворения всех потребностей данной территории, может быть доступно несколько источников воды. WEAP рассматривает дополнительные источники как дополнительные и будет использовать их только после того, как возникнет ограничение по объему (выраженное либо в виде максимального объема стока, либо в виде максимального процента от потребности), связанное с предпочтительным источником воды.

Процедура распределения воды в WEAP использует приоритеты спроса и предпочтения предложения для балансировки поставок и спроса на воду. Для этого WEAP должна оценивать доступные запасы воды на каждом временном шаге. Хотя общий объем запасов может быть достаточным для удовлетворения всех потребностей в системе, часто бывает так, что эксплуатационные соображения не позволяют сбрасывать воду для этого. Эти правила обычно направлены на сохранение воды в периоды ее нехватки, чтобы обеспечить максимальную надежность долгосрочных потребностей в воде для наиболее приоритетных водопользователей (часто это коммунально-бытовые городские потребности). WEAP может представлять такой контролируемый сброс запасенной воды с помощью встроенных процедур работы с водохранилищем.

WEAP использует типовые модели водохранилищ, которые делят объем водохранилища на четыре зоны, как показано Рисунок 19. К ним относятся сверху вниз: зона контроля наводнений (противопаводковая зона), зона хранения основного (полезного объема) или зона резервирования, буферная зона и зона мертвого объема. Зона хранения основного (полезного объема) и буферная зона вместе составляют активный или полезный объем водохранилища. WEAP всегда срабатывает зону контроля наводнений, так что объем воды в водохранилище не может превышать верхнюю границу зоны хранения основного (полезного) объема. Размер каждой из этих зон может меняться в течение года в соответствии с нормативными требованиями, такими как кривые правил эксплуатации водохранилища и борьбы с наводнениями.

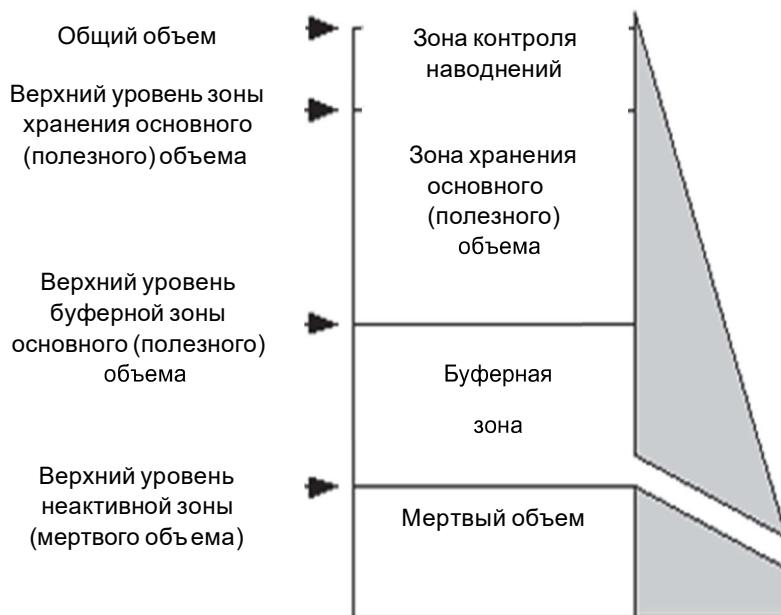


Рисунок 20. Зоны работы водохранилищ в WEAP

WEAP позволяет водохранилищам свободно сбрасывать воду из зоны хранения основного (полезного) объема для полного удовлетворения потребностей нижнего течения. При снижении уровня воды в водохранилище до уровня буферной зоны сброс воды ограничивается в соответствии с буферным коэффициентом для сохранения сокращающихся запасов воды в водохранилище. Буферный коэффициент - это доля воды в буферной зоне, ежемесячно доступная для сброса. Таким образом, при значении коэффициента, близком к 1,0, потребности будут удовлетворяться более полно, при этом буферная зона будет быстро опустошаться. При коэффициенте, близком к нулю, потребности останутся неудовлетворенными, а запасы в буферной зоне сохранятся. В качестве альтернативы зоне консервации и буферной зоне могут быть присвоены различные приоритеты, отражающие изменение приоритетов по мере истощения запасов водохранилища. Вода в зоне мертвого объема в целом недоступна для распределения, хотя в экстремальных условиях испарение может опустить уровень воды в водохранилище ниже верхней границы мертвого объема.

#### Сток воды, образующийся за счет осадков (тало-дождевой сток)

Модуль WEAP «Влажность почвы» используется для моделирования гидрологии бассейна. Этот модуль конфигурирует бассейн как непрерывный набор суб-водосборов (частных водосборов), которые охватывают всю протяженность речного бассейна. Эта концептуальная модель для каждого суб-водосборного бассейна показана на Рисунок 20. На это непрерывное представление речного бассейна накладывается топология водохозяйственной сети, включающей реки, каналы, водохранилища, центры спроса на воду, водоносные горизонты и другие объекты. Уникальный набор климатических данных, включающий осадки, температуру, относительную влажность и скорость ветра, равномерно распределен по всем суб-водосборам.

Одномерная квазифизическая модель водного баланса отображает гидрологический отлив каждого дробного участка в пределах суб-водосбора и разделяет воду на компоненты поверхностного стока, инфильтрации, эвапотранспирации, меженного стока, перколяции

(просачивания) и базового стока (см. Уравнение 1 и Рисунок 21). Затем значения для каждого дробного участка в пределах суб-водосбора суммируются для представления единой гидрологической характеристики, при этом поверхностный, меженный и базовый сток связываются с элементом реки, а эвапотранспирация теряется из системы.

Уравнение 1.

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_s(t) - PET(t)k_{c,j}(t)\left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3}\right) - P_s(t)z_{1,j}^{RRF_j} - f_j k_{c,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_{c,j} z_{1,j}^2$$

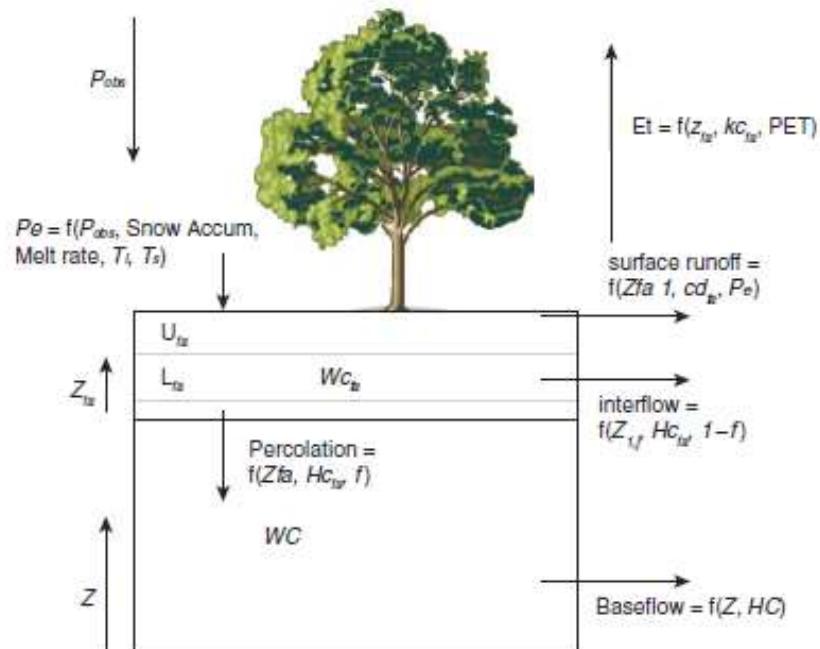


Рисунок 21. Принципиальная схема гидрологической модели влажности почвы WEAP

Snow Accum - Накопление снега

Melt rate – скорость таяния

Surface runoff – поверхностный сток

Interflow – межпластовый сток

Percolation – просачивание

Baseflow – базовый сток

## Приложение 2.С: Категории сельскохозяйственных культур

Таблица 7. Группировка сельскохозяйственных культур по категориям

Категории WEAP	Категории ФАО
Кукуруза	Кукуруза
	Кукуруза зеленая
Хлопок	Семенной хлопок
Арбузы и кабачки	Тыква, кабачки, гуша
	Огурцы и корнишоны
	Арбузы
	Мелона, другая (включая дыни)
Пшеница	Пшеница
Ячмень	Ячмень
Другие зерновые	Овёс
	Рожь
	Сорго
	Зерно (смешанное)
	Зерновые нес
	Тритикале
	Соевые бобы
	Просо
Картофель	Картофель
Рис	Рис
Сахарная свёкла	Сахарная свёкла
Виноград	Виноград
Яблоки	Яблоки
Другие сады	Фрукты, косточковые не
	Груши
	Персики и нектарины
	Абрикосы
	Сливы и
	Вишни
	Вишня кислая
	Киви
	Фрукты, семечки
	Фрукты, цитрусовые
	Фрукты, свежие нес
	Инжир
	Апельсины
	Лимоны и лаймы
	Мандарины, мандарины, клементины, сацумы
	Грейпфрут (включая помелос)
	Фундук
	Грецкие орехи со скорлупой
	Хурма
	Фисташки
	Фундук, со скорлупой
	Айва
	Оливки

	Миндаль, с оболочкой
Овощи	Артишоки
	Морковь и репа
	Цветная капуста и брокколи
	Чили и перец, сухой
	Чили и перец, зеленый
	Баклажаны (баклажаны)
	Лук-порей, другие овощи
	Перец (пайпер spp.)
	Салат-латук и цикорий
	Лук сухой
	Лук, лук-шалот, зеленый
	Овощи, свежие блюда
	Овощи зернобобовые
	Горох зеленый
	Горох сухой
Масличные семена и бобовые	Масличные культуры
	Семена сафлора
	Кунжут
	Джут
	Подсолнечник
	Рапс
	Зернобобовые
	Льняное семя
	Импульсов
Другие культуры	Табак необработанный
	Малина
	Специи
	Ягоды
	Гречиха
	Чечевица
	Черника
	Нут
	Орехи
	Смородины
	Клубника
	Крыжовник
	Корни цикория
	Арахис, со скорлупой
	Горчичное семя
	Капуста и другие капусты
	Фасоль сухая
	Фасоль, зеленая
	Чеснок
	Помидоры
	Фасоль обыкновенная, конская фасоль сухая

## Приложение 2.D: Валидация модели WEAP-MAVIA

Эффективность модели WEAP-MAVIA оценивалась за исторический период с 1995 по 2020 годы с использованием трех отдельных показателей. Эти показатели включали ежегодную подачу воды для каждой из 15 типов с/х культур, их урожайность и среднегодовой забор воды из поверхностных источников воды. Каждый из них описан ниже.

Следует отметить, что традиционная калибровка модели была невозможна из-за отсутствия адекватных местных данных, на основе которых можно было бы рассчитать стандартные показатели эффективности. Особенно это касается урожайности сельскохозяйственных культур, для которой за период моделирования были доступны только данные на национальном уровне, на уровне стран. Данные по водозабору за несколько лет были в наличии, но относились к более раннему периоду (1980-1995 гг.), чем период моделирования. К счастью, в этом случае значения не сильно отличались от среднего забора, который был использован в качестве базы для сравнения. По используемым водным ресурсам имелось больше данных, но они сильно различались в зависимости от источников данных.

### Подача воды

Данные об уровне водопотребления сельскохозяйственных культур были получены по данным Духовного и Шуттера (2011), исследования водопользования и управления фермерским хозяйством Сырдарьи (1997 г.) по данным партнеров из Кыргызской Республики. Эти данные широко варьировались по всему бассейну для основных распространенных культур. Поэтому в качестве основы для сравнения использовались средние значения.

Таблица 8. Сравнение наблюденных и моделируемых среднегодовых объемов используемой (подаваемой) воды (м3/га/год)

С/х культура	Казахстан низовья	Казахстан Верховья	Кыргызская Республика	Таджикистан	Узбекистан низовья	Узбекистан верховья	Наблюденный
Яблоки	10,517	7,871	13,575	12,550	11,476	7,873	9,470
Ячмень	4,866	2,783	6,789	6,034	4,710	2,704	
Кукуруза	8,546	5,575	5,674	5,385	9,171	5,225	7,500
Хлопок		8,321	8,303	7,380	10,732	7,592	9,340
Виноград	4,730	4,265	7,359	6,971	5,331	5,058	7,636
Масличные семена и бобовые	6,314	4,054	5,278	9,166	7,053	4,050	
Другие культуры	4,332	2,789	4,969	4,206	5,912	3,591	
Другие зерновые	6,515	3,915	5,868	5,253	7,348	5,192	
Другие садовые	8,840	5,475	8,137	6,691	9,671	7,463	
Картофель	5,913	4,671	6,448	8,136	6,373	3,112	4,600
Рис	12,142	9,091	12,414	10,414	13,825	10,002	8,400
Сахарная свёкла		3,164	6,797		6,312	5,011	
Овощи	5,066	3,109	9,849	9,120	5,912	4,114	10,000
Арбузы и кабачки	5,187	3,146	5,719	5,805	5,232	2,503	
Пшеница	5,014	3,511	4,903	5,048	5,039	3,365	4,000

### Речные водозаборы

Общий годовой объем речных водозаборов был получен из базы данных CAWater за период с 1980 по 1995 годы. Эти данные представлены на Рисунке 22 ниже и показывают, что, за исключением Узбекистана, общий объем забора воды в течение этого периода был стабильным. Отбор воды в Узбекистане значительно снизился в 1980 и 1990 годах, но в течение последних пяти лет сохранялся на среднем уровне 19 300 млн. м3/год. В связи с отсутствием более поздних данных в качестве базы для сравнения были взяты средние значения за 1991-1995 годы. Сравнение смоделированных объемов водозабора за период 1995-2020 гг. с данными CAWater представлено на Рисунке 23.

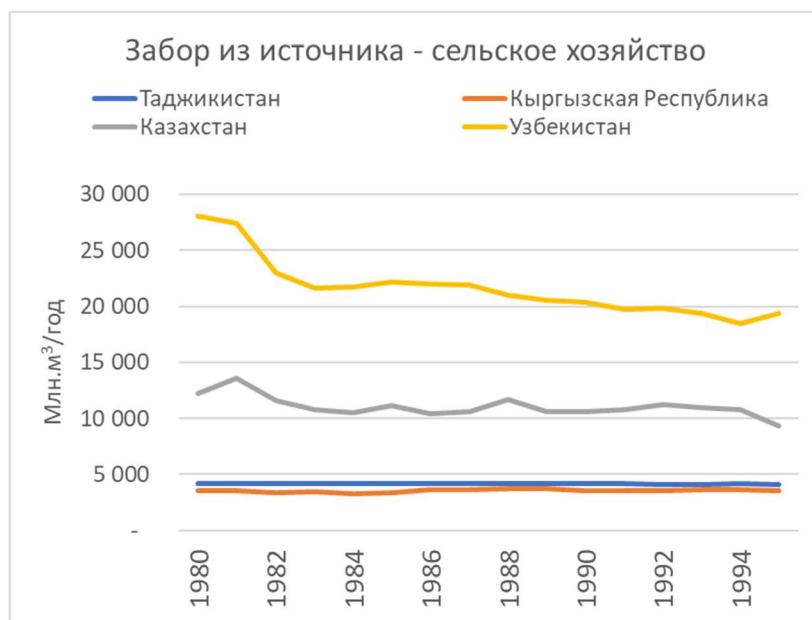


Рисунок 22. Общий ежегодный водозабор из рек для нужд сельского хозяйства, 1980-1995 годы

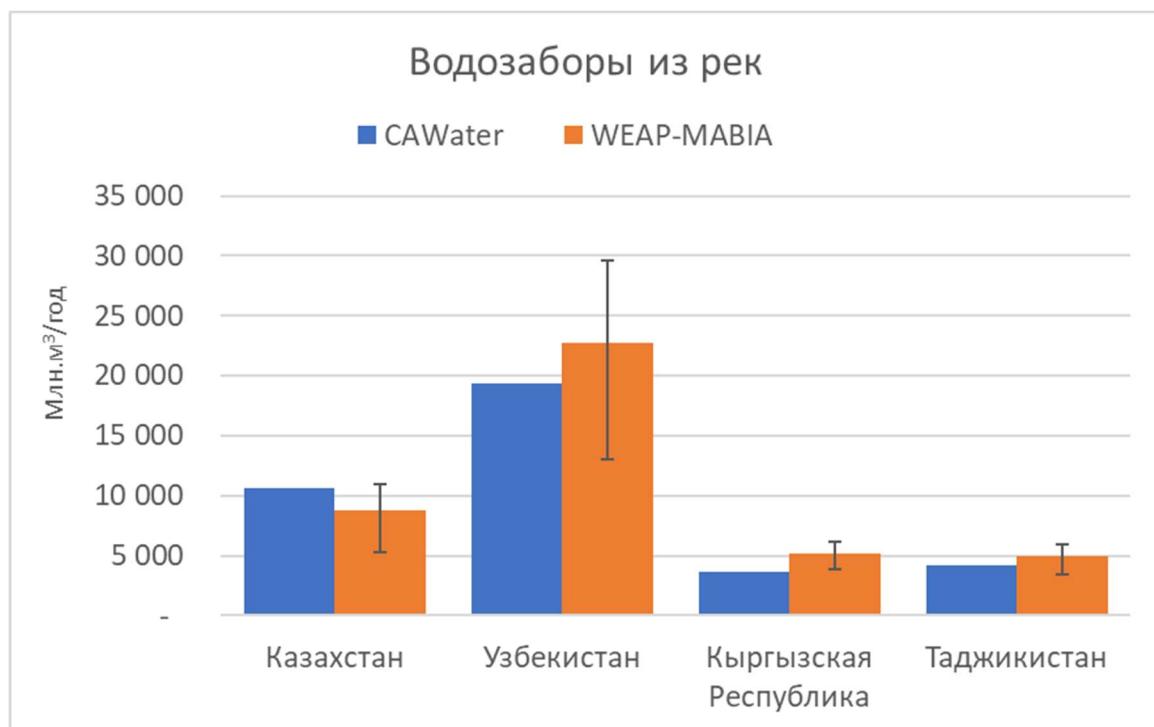


Рисунок 23. Сравнение симулированных речных водозаборов со средними наблюденными данными.

## Урожайность с/х культур

Урожайность сельскохозяйственных культур значительно варьируется между странами бассейна реки Сырдарья. Например, по данным ФАО, среднегодовая урожайность пшеницы в период с 2011 по 2020 год составила 4605 кг/га для Узбекистана, 2960 кг/га для Таджикистана, 2260 кг/га для Кыргызской Республики и 1170 кг/га для Казахстана. Таким образом, важно учитывать эти различия в рамках модели WEAP. К сожалению, как уже отмечалось ранее, для целей валидации модели были доступны только данные национального уровня, что означает, что в модели предполагается, что урожайность в бассейне реки Сырдарья соответствует средней по стране.

На приведенных ниже графиках показано сравнение наблюденной и смоделированной урожайности для трех культур, составляющих 60% от общей орошаемой площади бассейна. Эти сравнения продемонстрировали, что модель в целом отражает изменчивость урожайности между странами, тенденции роста урожайности, а также внутригодовую изменчивость, обусловленную климатическими и другими факторами.

## Пшеница

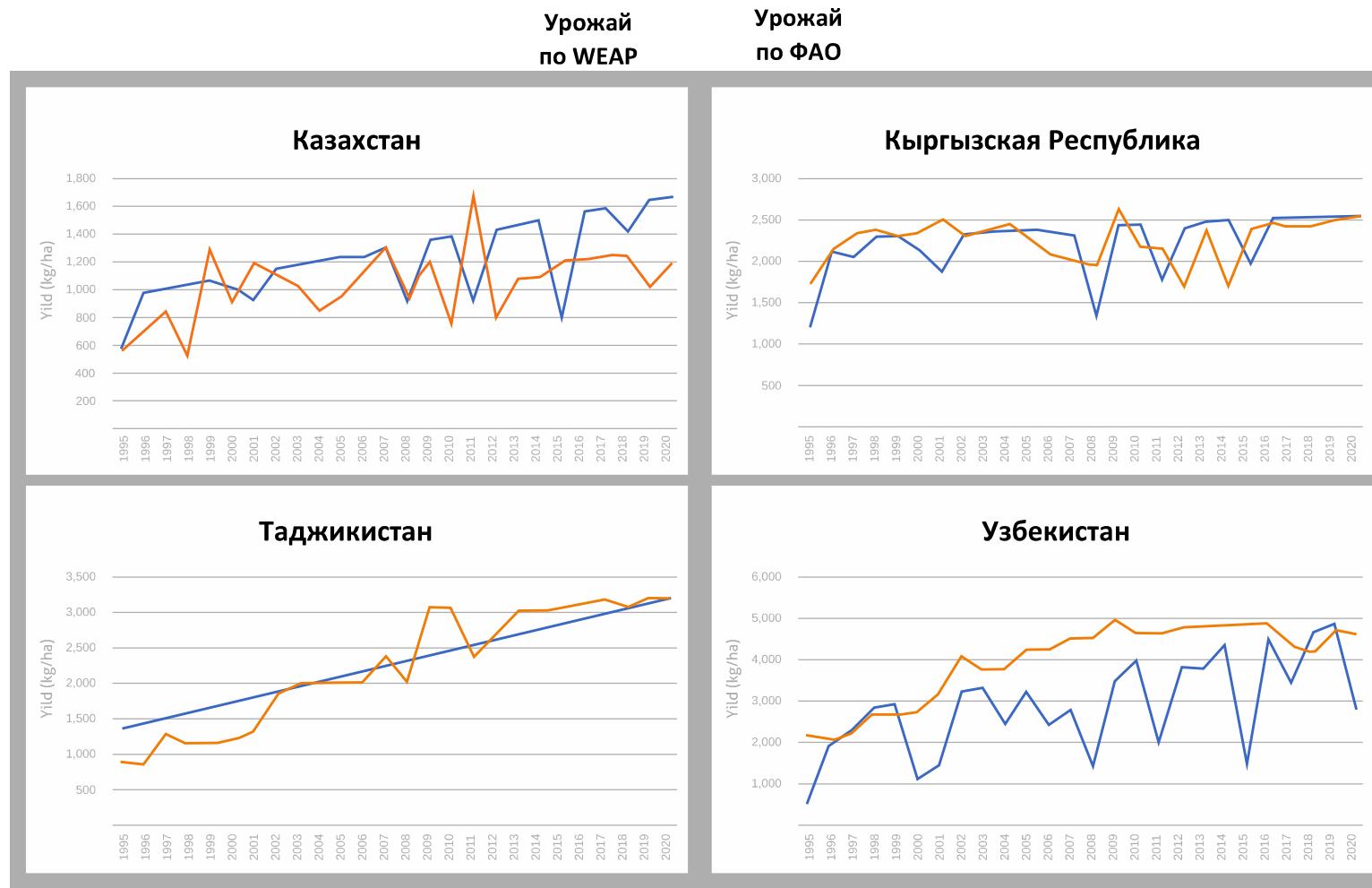


Рисунок 24. Сравнение наблюдаемых и смоделированных урожаев (кг/га) пшеницы в каждой стране, 1995-2020 гг.

# ХЛОПОК

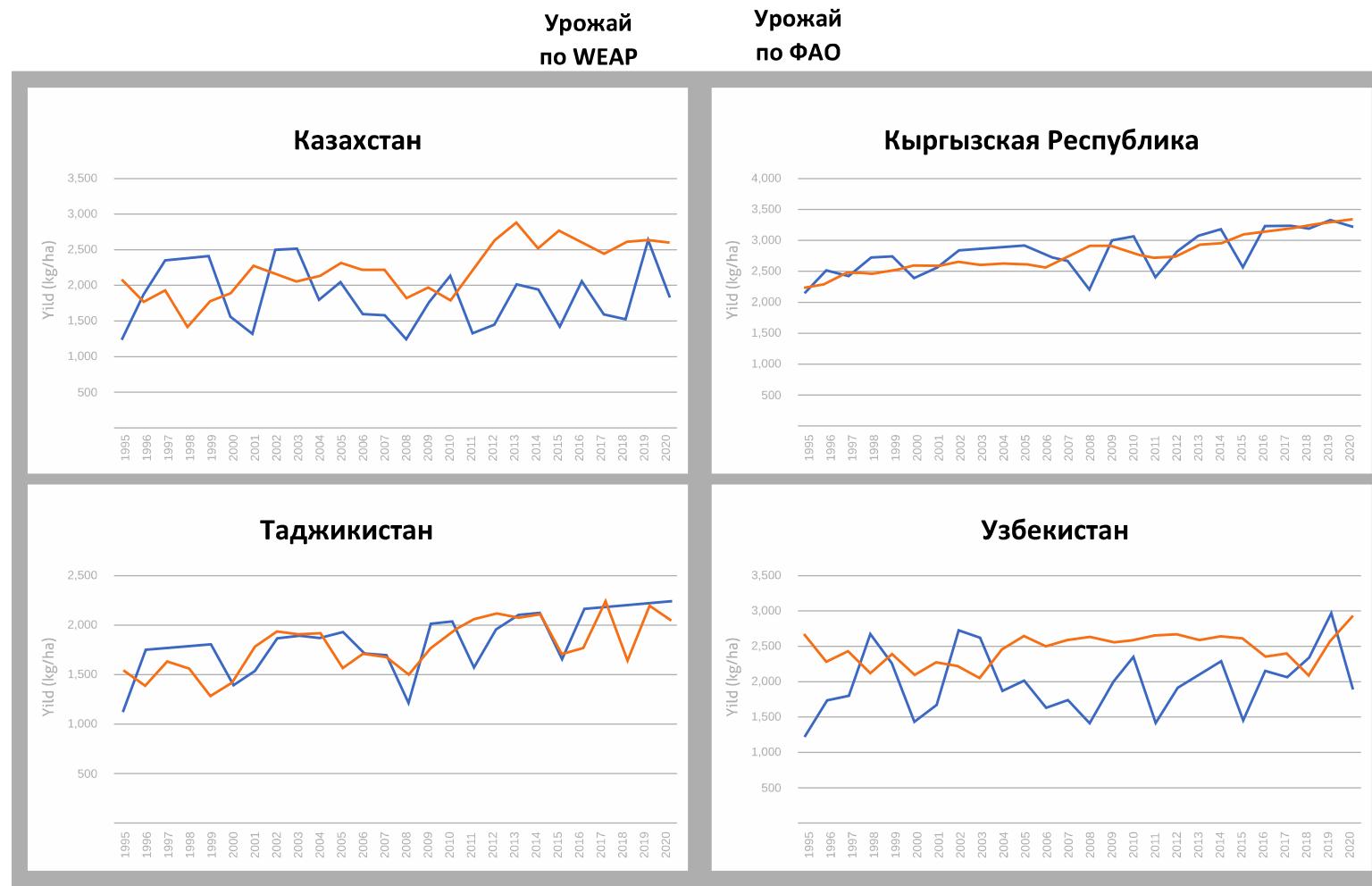


Рисунок 25. Сопоставление наблюдаемых и смоделированных урожаев (кг/га) по хлопку в каждой стране, 1995-2020 гг.

## Ячмень

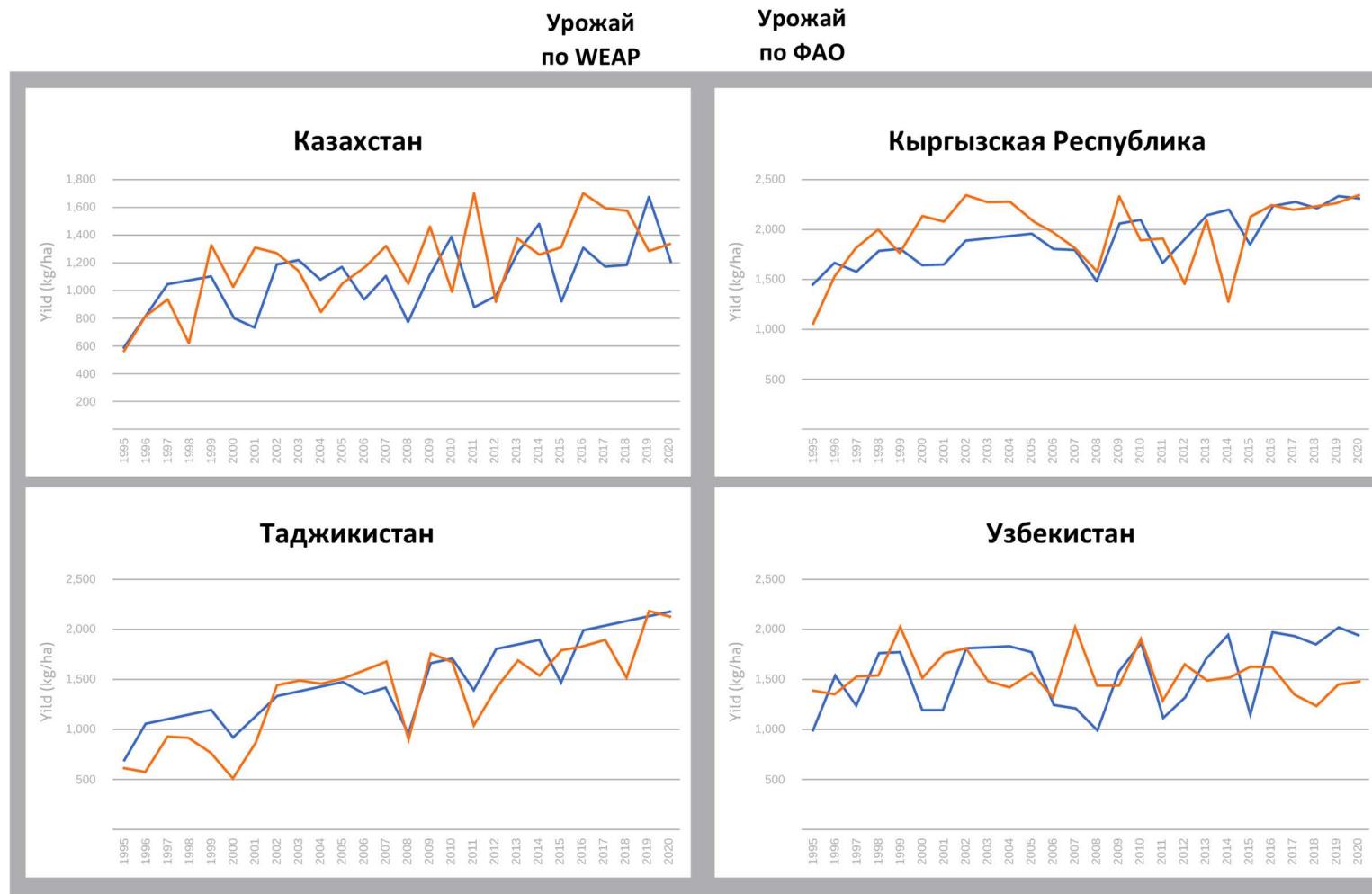


Рисунок 26. Сопоставление наблюдаемых и смоделированных урожаев (кг/га) ячменя в каждой стране, 1995-2020 гг.

## Приложение 2.Е: Калибровка гидрологических параметров в WEAP

Прежде чем использовать модель для оценки надежности водоснабжения в бассейне реки Сырдарья, необходимо было провести калибровку гидрологических параметров, чтобы убедиться, что она может адекватно оценивать сток рек.

Первым шагом в калибровке любой модели является выбор исторического периода, включающего одновременные входные данные и данные наблюдений, которые охватывают достаточно длительный период, чтобы отразить диапазон условий (влажных и сухих) в бассейне. В данном случае основными входными данными для модели WEAP являются климатические данные, а данными наблюдений - измеренный речной сток. Для этого был выбран шестнадцатилетний период с 1980 по 1995 год, в течение которого существовало несколько гидропостов, содержащих данные о стоке за несколько лет. К ним относятся следующие створы:

- река Сырдарья – Токтогульское водохранилище
- река Андикан - выше Андиканской плотины
- река Ахангаран - выше Ахангаранской плотиной
- река Чирчик - выше Чарвакского каскада
- река Ак-Буура - выше Папанской плотины

Калибровка модели WEAP по историческим значениям речного стока на каждом из этих участков проводилась с использованием комбинации ручных методов и компьютерных алгоритмов, таких как программа PEST (Doherty, 2002). Пять параметров землепользования были скорректированы для достижения калибровки по речному стоку в различных точках. Этими параметрами являются коэффициент эвапотранспирации ( $K_c$ ), влагоемкость почвы (SWC), коэффициент сопротивления стоку (RRF), водопроводимость корневой зоны (RZC) и предпочтительное направление потока (PFD). При моделировании наиболее чувствительными являются SWC, RZC и RRF. Поэтому первоначальная калибровка была сосредоточена на этих трех параметрах. Дальнейшее уточнение формы и сроков результирующих гидрографов осуществлялось путем корректировки  $K_c$  и PFD.

Калибровочная метрика	Значение
Эффективность Нэш-Сатклиффа (NSE)	0.62
Процентное смещение (PBIAS)	7.1%
Отношение стандартных отклонений (SDR)	0.95

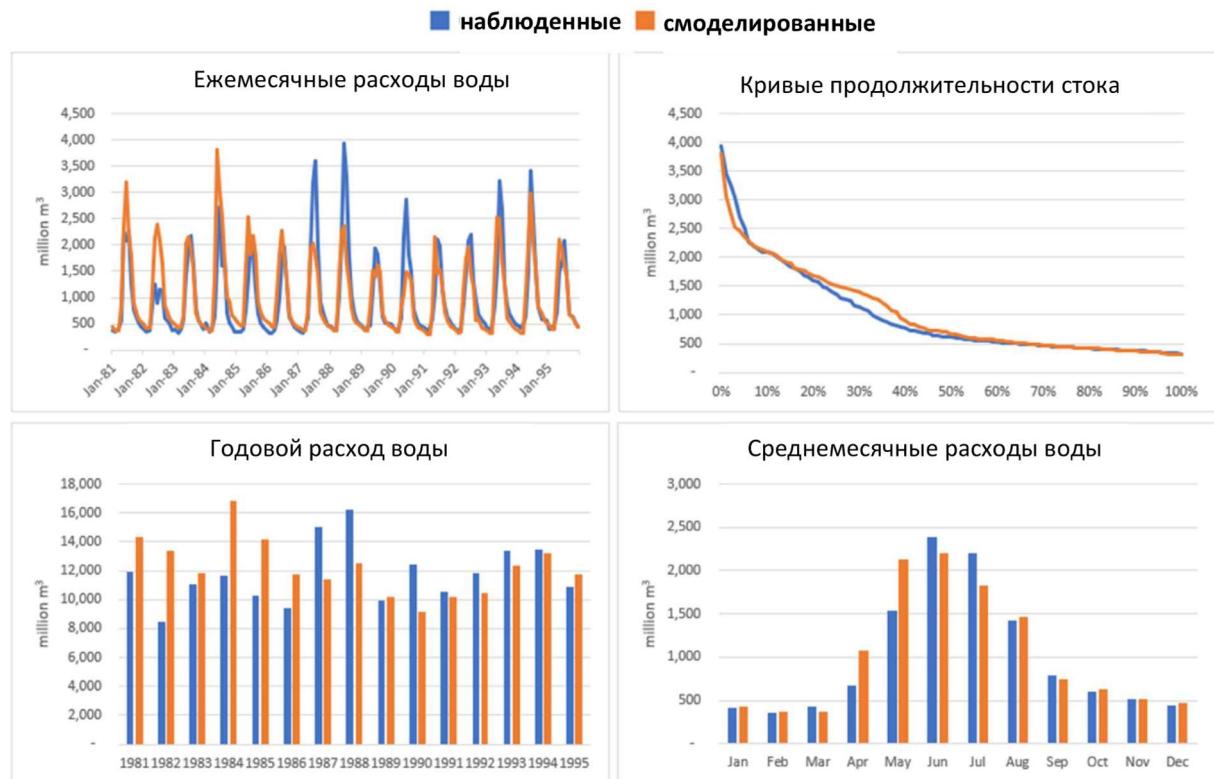


Рисунок 27. Сравнение наблюденного и смоделированного стока реки Сырдарья в Токтогуле

Калибровочная метрика	Значение
Эффективность Нэш-Сатклиффа (NSE)	0,72
Процентное смещение (PBIAS)	12%
Отношение стандартных отклонений (SDR)	0.91

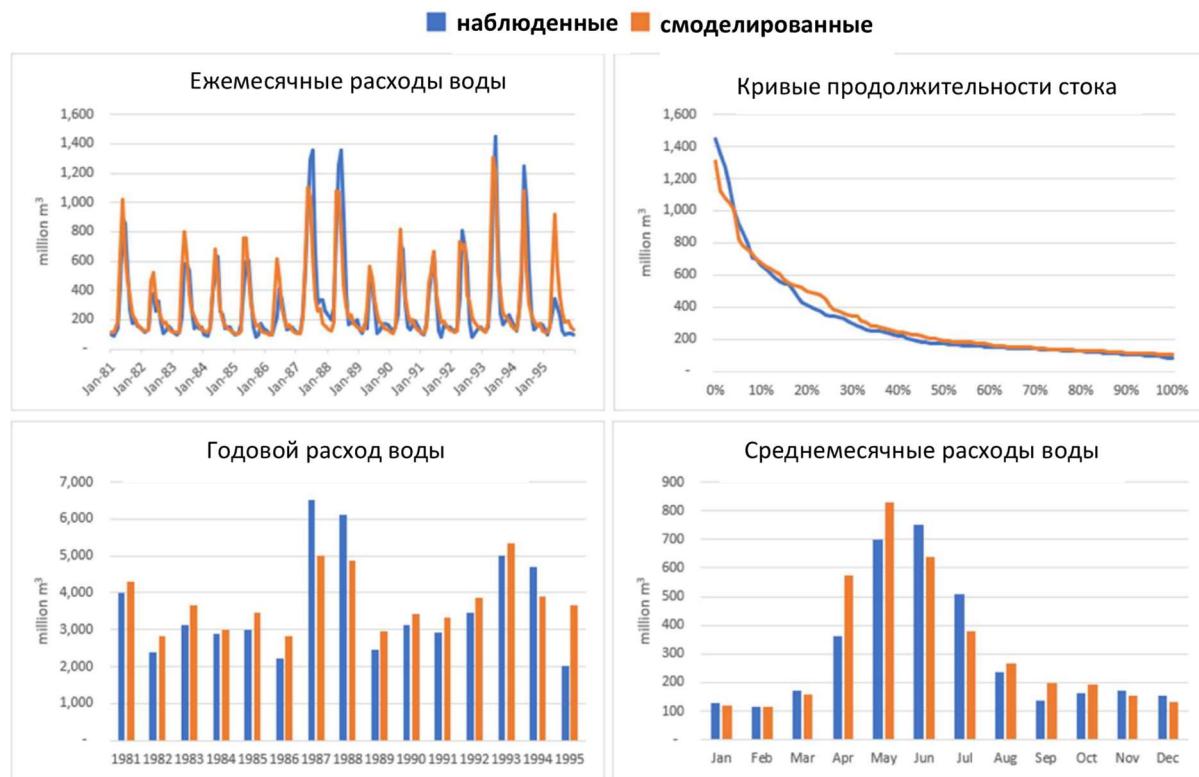


Рисунок 28. Сравнение наблюденного и смоделированного стока реки Андижан выше Андижанской плотины

Калибровочная метрика	Значение
Эффективность Нэш-Сатклиффа (NSE)	0,72
Процентное смещение (PBIAS)	-1%
Отношение стандартных отклонений (SDR)	0,97

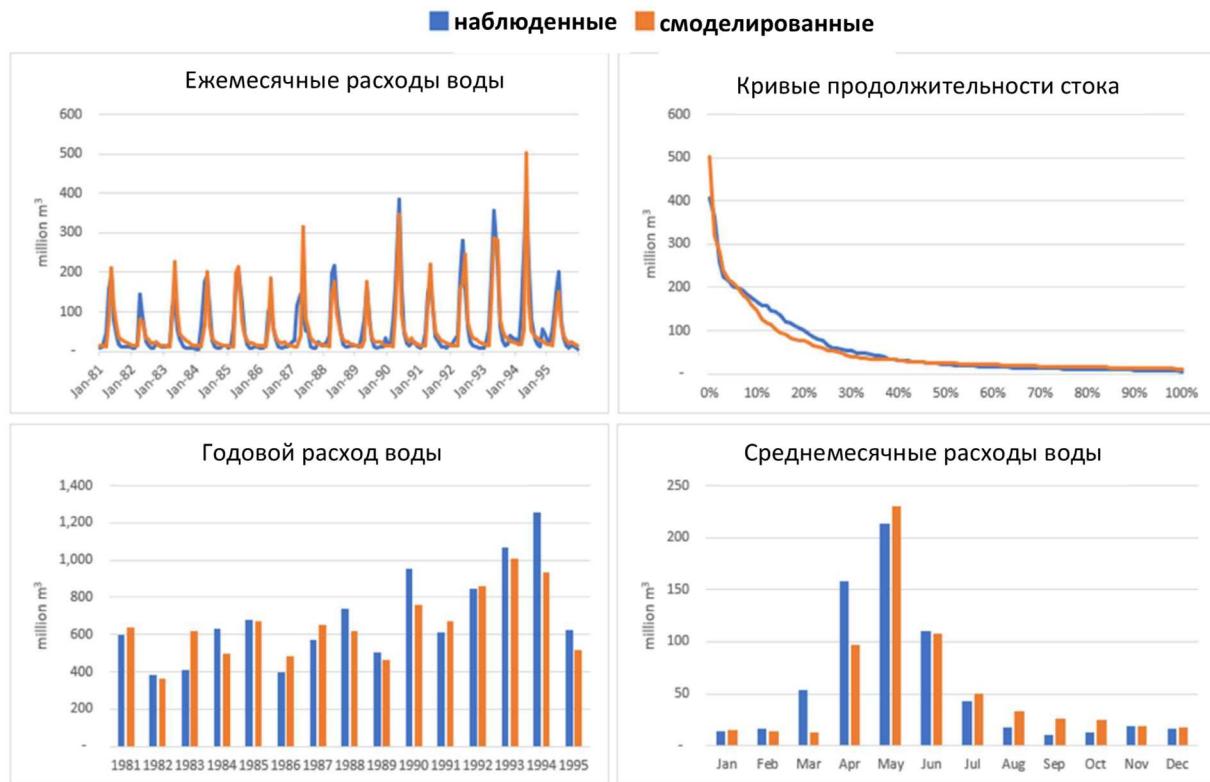


Рисунок 29. Сравнение наблюденного и симулированного стока реки Ахангаран выше Ахангаранской плотины

Калибровочная метрика	Значение
Эффективность Нэш-Сатклиффа (NSE)	0,32
Процентное смещение (PBIAS)	-5%
Отношение стандартных отклонений (SDR)	1.49

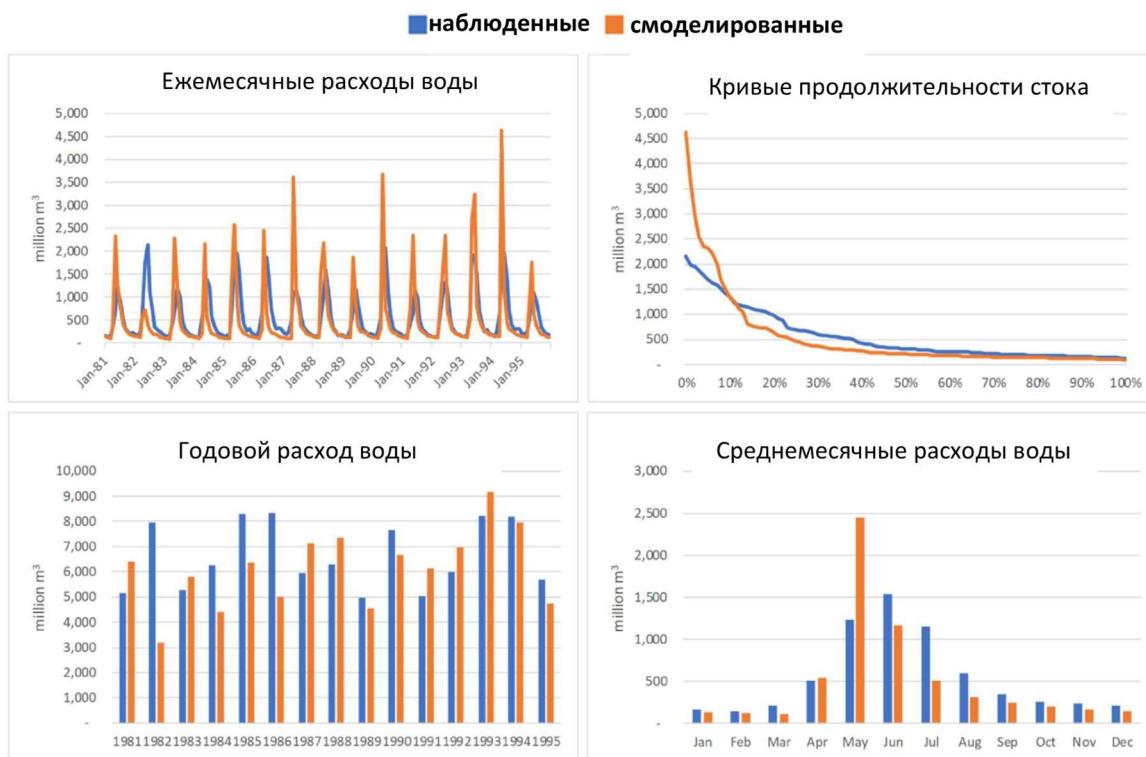


Рисунок 30. Сравнение наблюденного и сmodeлированного стока реки Чирчик выше Чарвакского каскада

Калибровочная метрика	Значение
Эффективность Нэш-Сатклиффа (NSE)	0,52
Процентное смещение (PBIAS)	15%
Отношение стандартных отклонений (SDR)	1,3

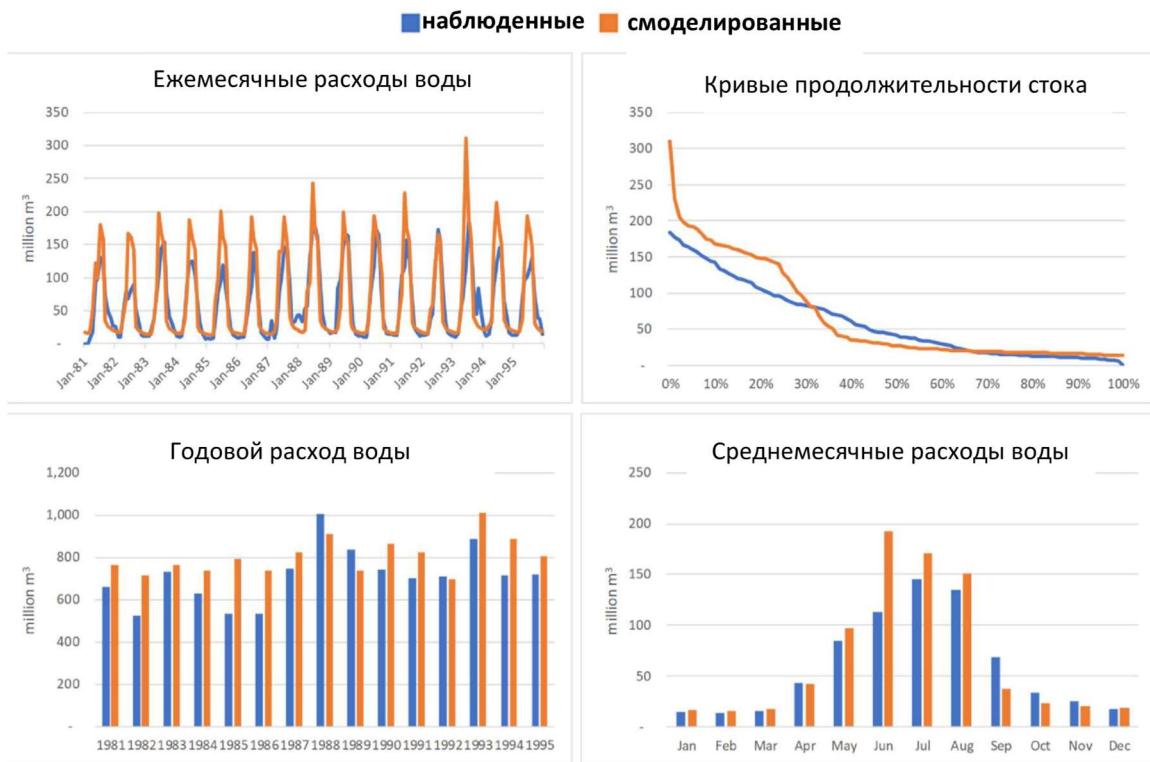


Рисунок 31. Сравнение наблюденного и смоделированного стока реки Ак-Буура выше Папанской плотины

ПРИЛОЖЕНИЕ 3:

# МОДЕЛЬ LEAP ДЛЯ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРЬЯ

# Введение

В настоящем отчете задокументирован проект разработки модели энергетической системы для бассейна реки Сырдарья, разработанной Стокгольмским институтом окружающей среды (SEI) для инициативы USAID по поддержке принятия решений (RDS) Регионального проекта USAID по водным ресурсам и окружающей среде (далее – Региональный проект). Построенная в рассматриваемом бассейне в 2022 году с учетом вклада ряда заинтересованных сторон, модель была связана с водными ресурсами и макроэкономическими моделями для выполнения комплексного анализа взаимосвязи вода-энергия-продовольствие-окружающая среда. В ходе этого анализа изучалось воздействие различных вариантов политики и планирования в условиях критических неопределенностей и были получены выводы о стратегиях повышения безопасности использования водно-энергетических ресурсов.

В этом отчете описывается программная платформа модели, область и структура, методы моделирования, входные и выходные данные. В нем также описываются различные сценарии, представленные в модели. Результаты этих сценариев представлены в других отчетах и презентациях, которые SEI предоставил Региональному проекту. Дополнительную информацию о структуре и реализации модели можно получить, изучив саму модель (Приложение 3.А).Приложение 3.А:

## Платформа анализа низких выбросов (LEAP)

### Общее описание

Модель для бассейна реки Сырдарья построена на Платформе анализа низких выбросов (Low Emissions Analysis Platform, LEAP) – программном инструменте для моделирования энергетических систем, выбросов загрязняющих веществ, целей устойчивого развития и связанных с ними внешних факторов. Система LEAP также разработана SEI и является одним из наиболее широко используемых инструментов моделирования энергосистем в мире. Сообщество специалистов-практиков, использующих LEAP в своей работе, включает почти 60 000 человек. Десятки стран полагаются на систему LEAP при разработке своих энергетических стратегий, планов смягчения последствий изменения климата, планов развития с низким уровнем выбросов и аналогичных мер политики. Так, например, система LEAP применялась в 61 государстве для разработки Определяемых на национальном уровне вкладов (Nationally Determined Contributions, NDC) в рамках Парижского климатического соглашения.<sup>1</sup>

Наряду с платформой WEAP, система LEAP является неотъемлемым компонентом данного программного пакета моделирования. В рамках пакета система LEAP отвечает за моделирование конечных потребностей в энергии, выбросов загрязняющих веществ и большинства источников энергоснабжения (энергогенерации). Для моделирования конкретно электроснабжения, однако, дополнительно задействуется еще один

<sup>1</sup> <https://leap.sei.org/default.asp?action=stats>.

программный инструмент, а именно Система моделирования энергетической оптимизации (Next Modeling System for Optimization, NEMO). NEMO представляет собой высокопроизводительный алгоритм для моделирования энергетических систем с открытым исходным кодом, также разработанный SEI. Он предназначен для интеграции с LEAP в качестве графического интерфейса пользователя. Модель использует NEMO для моделирования структуры электроснабжения с целью максимальной оптимизации соответствующих затрат/издержек. NEMO сконфигурирован таким образом, что пользователям не нужно взаимодействовать с ним напрямую – вместо этого модель LEAP сама автоматически запускает NEMO при проведении экспериментальных расчетов, и выходные данные NEMO отображаются в интерфейсе результатов LEAP.

Система NEMO формулирует задачу по оптимизации электроснабжения, которую затем сама решает с помощью сторонней вычислительно-решающей программы (решателя). NEMO совместим с различными программами-решателями, в том числе с открытым исходным кодом и коммерческими/запатентованными. При анализе бассейна реки Сырдарья команда SEI в разное время использовала два приложения-решателя, а именно Gurobi и HiGHS. Gurobi является коммерческой программой и, как правило, для ее использования требуется наличие платной лицензии, в то время как HiGHS является программой с открытым исходным кодом и доступна бесплатно. Специалисты SEI использовали HiGHS в первую очередь при отработке процессов создания модели в рамках семинаров по наращиванию потенциала с заинтересованными сторонами. Gurobi применялась при проведении интегрированных водно-макроэкономических модельных расчетов, поскольку данное приложение характеризуется более высокими показателями производительности, и это было сочтено необходимым в контексте поставленных задач.

Каждый компонент программного модельного пакета – LEAP, NEMO и программы-решатели – сопровождается документацией, доступной онлайн, где подробно описываются методики их использования. Соответствующие материалы можно получить по следующим ссылкам:

- LEAP – <https://leap.sei.org/>
- NEMO – <https://sei-international.github.io/NemoMod.jl/stable/>
- Гуроби – <https://www.gurobi.com/>
- HiGHS – <https://highs.dev/>

## Область применения и структура модели

Модель, созданная в рамках Регионального проекта, является полноценной моделью энергосистемы стран бассейна реки Сырдарья (Казахстана, Кыргызской Республики, Таджикистана и Узбекистана) и позволяет моделировать все аспекты генерации, потребления и обмена всеми энергоносителями (типами топлива) в этих государствах, включая промежуточные и конечные<sup>2</sup> энергопотребности, процессы энергетической трансформации, добывчу первичной энергии, импорт и экспорт энергии. Каждая из

<sup>2</sup> Потребности конечных энергопотребителей (т.е. пользователей, не являющихся производителями энергии).

четырех стран рассматриваемого бассейна представлена в модели в качестве отдельной зоны, и большинство источников/видов деятельности, связанных с предложением (снабжением) энергии и спросом на нее, географически агрегируются на этом уровне. Вместе с тем, географически отдельно учитываются потребности (спрос) на энергию в сельскохозяйственном секторе, энергетические потребности для целей насосной перекачки воды и в гидроэнергетической отрасли. В таких случаях модель разграничивает спрос на воду или предложение воды внутри бассейна реки Сырдарья и за его пределами.

Модель охватывает период с 2010 по 2050 гг. В целом (но в зависимости от конкретной переменной) выходные данные на период 2010-2019 гг. основаны на исторических данных, а результаты для других периодов являются прогнозными (расчетными). По умолчанию временной шаг модели составляет 1 год, и большинство показателей по энергопотребностям, энергоснабжению и другим выводным параметрам рассчитывались с годовым интервалом. Здесь единственным исключением является только электроэнергия – спрос на нее и ее предложение моделировались по 288 временным срезам (time slices) в течение года, что соответствует количеству стандартных 24-часовых дней в каждом месяце.

Кроме географической дезагрегации, модельные конечные потребности в энергии разбивались по секторам, подсекторам и типам топлива. В модели представлены следующие секторы:

- сельскохозяйство;
- торговля (коммерческий сектор);
- промышленность;
- коммунально-бытовой (жилищно-коммунальный);
- транспортный.

Моделирование спроса также охватывает спрос на международное бункерное топливо (прим.: топливо, потребляемое международным морским и воздушным транспортом), затраты энергии на неэнергетические процессы (напр., переработка нефтехимического сырья), статистические различия в энергетических балансах и другие неклассифицированные конечные энергопотребности.

Для каждой страны модельный блок (сторона) предложения (снабжения) определяется энергетическими/промышленными секторами, технологиями и видами топлива (энергоносителей). Основные из них включают в себя следующие:

- генерация на основе/производство биомассы;
- доменные печи;
- генерация на основе/производство брикетированного бурого угля;
- генерация на основе/производство древесного угля;
- угольные шахты (антрацит);
- угольные шахты (битумный);
- угольные шахты (лигнит);
- коксовые печи;

- 
- генерация электроэнергии;
  - генерация на основе/производство брикетированного каменного угля;
  - теплогенерация;
  - добыча природного газа;
  - добыча нефти;
  - нефтепереработка.

Блок поставок (снабжения, предложения) модели также отражает изменения в энергетических запасах или фондах, перетоки энергии между секторами, внутреннее энергопотребление энергопроизводителями и потери энергии при передаче, распределении и/или транспортировке.

При построении модели специалисты SEI уделяли особое внимание электроснабжению в связи с важностью этого сектора для бассейна реки Сырдарья. Каждый действующий, планируемый к строительству/вводу в эксплуатацию или потенциальный крупный гидроэнергетический объект на территории бассейна представлен в модели отдельно (всего 24). Другие объекты электроэнергетики агрегированы по технологиям – в модели представлены 33 такие технологии, включая технологии, связанные с ископаемыми видами топлива, ядерные, а также ветровые и биогазовые технологии. На *Рисунке 1.* (снимок экрана интерфейса модели LEAP) показана внутренняя структура сектора энергогенерации внутри модели, т.е. представлен полный перечень всех энергогенерирующих объектов и технологий, учитываемых в модели. Здесь также следует отметить, что модель LEAP автоматически скрывает объекты и технологии для зон, в которых они не используются/не существуют.

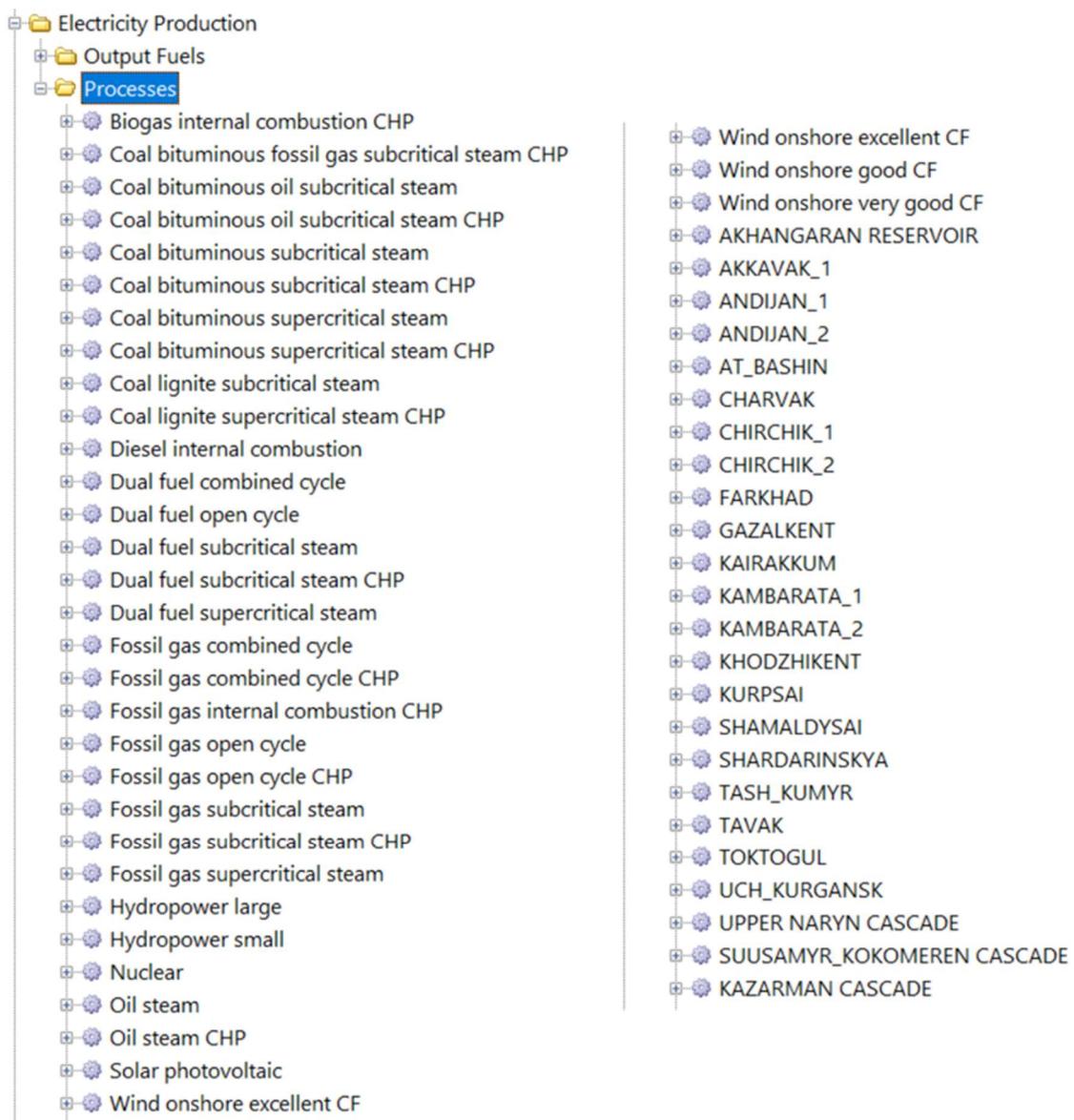


Рисунок 1. Структура сектора производства электроэнергии

Модель позволяет учитывать запасы первичных энергоресурсов (как возобновляемых, так и невозобновляемых), а также импорт и экспорт энергии по видам топлива. LEAP использует эти данные при расчете энергетических балансов для каждого симулированного года.

В дополнение к потреблению и производству энергии в модели количественно определяются выбросы основных парниковых газов – а именно диоксида углерода, метана и оксида азота – из энергосистем.

## Методы моделирования, входные данные и допущения

Как подробно объясняется в документации LEAP, моделирование энергетических систем в LEAP зависит от спроса. Расчеты выполняются для каждого моделируемого года и начинаются с моделирования конечного <sup>3</sup> спроса на энергию. Затем LEAP формирует сторону предложения энергии в модели для удовлетворения конечного спроса на каждое топливо. Смоделированные сектора или отрасли предложения (поставок) энергии используются для производства необходимых видов топлива с учетом ограничений на производственные мощности и на имеющиеся первичные энергетические ресурсы. Секторы поставок связаны в LEAP для определения их взаимодействий и зависимостей - например, продукция электроэнергетики поступает в сеть передачи и распределения электроэнергии; добыча сырой нефти обеспечивает сырье для нефтеперерабатывающих заводов. Поскольку секторы поставок энергии работают для удовлетворения конечных потребностей, они могут генерировать промежуточные потребности в энергии, которые также должны быть удовлетворены системой снабжения. В конечном счете, требования, которые не могут быть удовлетворены производством в смоделированной области, удовлетворяются импортом или сообщаются как неудовлетворенные (в зависимости от того, как настроена модель).

В модели для бассейна реки Сырдарья эта последовательность операций выполняется для каждой моделируемой области (региона). Импорт разрешен в качестве крайней меры для всех видов топлива, и предполагается, что любое избыточное производство энергии экспортируется. Хотя импорт и экспорт энергоносителей моделируются, в модели не проводится различия между источником импорта или местом назначения экспорта для каждого региона. SEI хотел бы предоставить такую возможность, включая явное моделирование перетоков электроэнергии через линии электропередач между регионами, но необходимые исходные данные оказались недоступны.

Модель моделирует конечный спрос на энергию с помощью анализа деятельности (активности). Этот метод рассчитывает спрос как произведение уровня деятельности и энергоемкости. Для исторических лет уровни деятельности и энергоемкости определяются на основе исторических данных. Затем эти величины прогнозируются в перспективных сценариях. В таблице 1 приведен обзор уровней деятельности и факторов будущих изменений энергоемкости, используемых в модели.

<sup>3</sup> <https://leap.sei.org/help/leap.htm>.

**Таблица 1. Моделирование конечных энергетических потребностей при анализе деятельности**

Сектор / категория	Уровень деятельности	Драйверы (факторы) изменения энергоемкости
Сельское хозяйство – перекачивание воды р.Сырдарья	Объем перекачиваемой воды (берется из модели водных ресурсов WEAP)	Нет – остается постоянной
Сельское хозяйство – прочее	Добавленная стоимость в сельском хозяйстве	Нет – остается постоянной
Торговля (комерческий сектор)	Коммерческая добавленная стоимость	Личные доходы, градусо-дни отопления, цены на топливо
Промышленность – перекачивание воды для промышленных и бытовых целей	Объем перекачиваемой воды (берется из модели водных ресурсов WEAP)	Нет – остается постоянной
Промышленность – прочее	Добавленная стоимость в промышленности	Цены на топливо
Жилой сектор	Домохозяйства	Личные доходы, дни отопления и охлаждения, цены на топливо
Транспорт – автомобильный	Автомобиле-километры	Нет – остается постоянной
Транспорт – железнодорожный, авиационный, навигационный	Тонно-километры	Цены на топливо
Транспорт – прочее	Валовой внутренний продукт (ВВП)	Нет – остается постоянной
Международные бункеры, неэнергетические, другие конечные требования	Валовой внутренний продукт (ВВП)	Нет – остается постоянной

Для определения драйверов изменения энергоемкости SEI провела статистический анализ взаимосвязи между историческими изменениями энергоемкости, личными доходами, днями отопления и охлаждения и ценами на топливо (в каждом регионе). Отношения, которые были признаны статистически значимыми, были включены в модель.

Как отмечено в таблице Таблица 1, модель предназначена для взятия прогнозов определенных уровней активности – объемов перекачиваемой воды – из модели водных ресурсов WEAP. Она также предназначена для получения прогнозов ВВП и добавленной стоимости из макроэкономических моделей, разработанных в проекте. В регионах, не охваченных макроэкономическими моделями, ВВП и добавленная стоимость прогнозируются на основе тенденций и целевых показателей национальной политики. Прогноз по домохозяйствам зависит от исторических размеров домохозяйств и прогнозируемой численности населения Департамента ООН по экономическим и социальным вопросам (2019 год). Транспортные средства и тонно-километры, как правило, прогнозируются с использованием их статистической связи с ВВП, если только в национальной политике не указана другая будущая цель или нет статистически значимой связи с ВВП (в этом случае последнее наблюдаемое историческое значение остается постоянным).

Будущие значения движущих сил изменения энергоемкости прогнозируются с использованием дополнительных методов. Личный доход рассчитывается из прогнозируемого населения и ВВП, в то время как будущие цены на топливо основаны на ценах и темпах роста в Международном энергетическом агентстве (2021) и Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии 2021). Градусо-дни нагрева и охлаждения взяты из прогнозов климатических моделей,

---

выполненных для 6-го проекта взаимного сравнения климатических моделей (CMIP6). Конкретные прогоны (результаты расчетов) модели, использованные для анализа по реке Сырдарья, описаны в основном заключительном отчете SEI по анализу.

Что касается энергоснабжения, модель сконфигурирована для воспроизведения исторических данных, в частности Международного энергетического агентства (2021). Будущее энергоснабжение затем моделируется с помощью нескольких методов моделирования. Будущее производство электроэнергии рассчитывается путем оптимизации по наименьшей стоимости в специальном модуле NEMO. При соблюдении технических ограничений и учете стоимостных и эксплуатационных характеристик вариантов производства электроэнергии модель находит наименее затратный способ поставки электроэнергии в каждом году и временном срезе. Оптимизация проводится в условиях совершенного предвидения и дисконтирования всех затрат до первого года моделирования (2020) по реальной ставке дисконтирования 5%. Она охватывает как расширение мощностей, так и диспетчеризацию - выбор того, какие новые производственные мощности строить и как использовать существующие мощности на каждом временном шаге. Существуют некоторые ограничения на технологии, которые модель может выбрать для построения. Ветровая и солнечная мощности (установки) ограничена потенциалом этих ресурсов; гидроэнергетика и биогаз ограничены заменой выводимых из эксплуатации установок<sup>4</sup>; а ископаемый и ядерный потенциал не ограничен.

SEI откалибровал процедуру оптимизации электроэнергии в соответствии с историческими данными энергетического баланса за 2010-2019 годы. Калибровочные коэффициенты, введенные в модель, гарантируют, что ее краткосрочные результаты соответствуют историческим показателям в энергосистемах стран бассейна реки Сырдарья. Эта конструкция объясняет тот факт, что эти системы могут не быть экономически оптимизированными сегодня. Со временем калибровочные коэффициенты удаляются, имитируя прогрессию в сторону более открытых и конкурентных рынков электроэнергии.

Для будущих поставок из других секторов производства энергии модель выполняет простое моделирование, в котором предполагается, что технологии и исходные виды топлива, которые исторически удовлетворяли потребности в энергии, будут продолжать это делать. Производственные мощности не моделируются, но производство невозобновляемой первичной энергии (угля, нефти и газа) ограничено запасами каждой страны.

Потери при передаче, распределении и транспортировке энергии рассчитываются с использованием коэффициентов потерь по конкретным видам топлива. По большей части они основаны на исторических данных, хотя в некоторых странах будущие тарифы изменяются в соответствии с целями политики (например, политикой сокращения потерь при передаче и распределении электроэнергии). Как указывалось ранее, мощности по

---

<sup>4</sup> По умолчанию – определенные сценарии исследуют строительство планируемых гидроэлектростанций как отмечается ниже.

---

передаче и распределению электроэнергии не моделируются из-за отсутствия необходимых исходных данных.

В ходе обсуждения в первой части этого раздела описывалось, как модель позволяет импорту покрывать нехватку энергоносителей, а экспорту поглощать излишки энергии. В дополнение к этому механизму модель предполагает, что исторически наблюдаемый импорт и экспорт энергоносителей продолжается в будущем. Этот импорт и экспорт происходит независимо от дефицита или излишков в системе поставок.

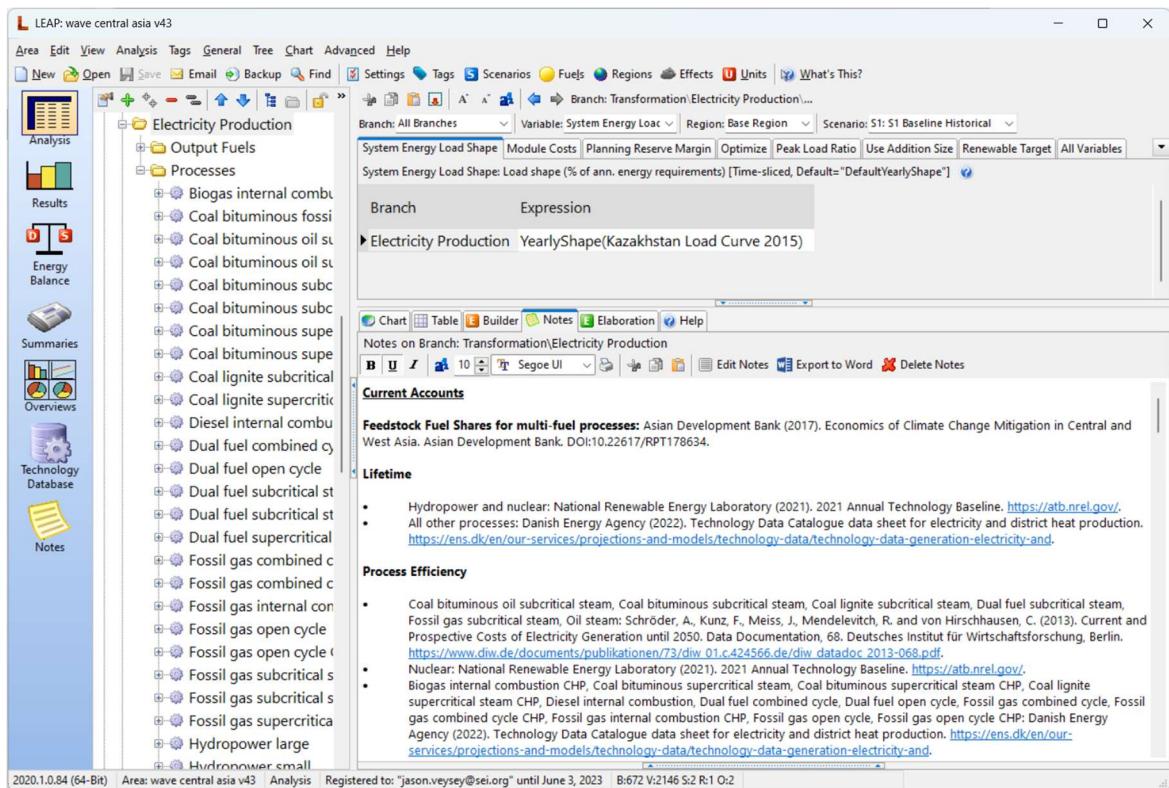
Ключевые входные данные, используемые в модели, включают следующее.

- Исторические энергетические балансы: Международное энергетическое агентство (2021c)
- Население: Бюро национальной статистики Казахстана (2021b); Агентство по статистике, Республика Таджикистан (2018); Департамент ООН по экономическим и социальным вопросам (2019)
- ВВП: Бюро национальной статистики Казахстана (2021b); Всемирный банк (2022); Агентство по статистике, Республика Таджикистан (2018)
- Добавленная стоимость: Бюро Национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан (2022b; 2022a), Национальный статистический комитет Кыргызской Республики (n.d.; 2021), Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан (n.d.; n.d.), Бюро национальной статистики Казахстана (2019; 2021a), Государственный комитет по статистике Республики Узбекистан (2022a; 2022b; 2022c)
- Мощности по производству электроэнергии: Platts (2021)
- Исторические цены на топливо: Международный валютный фонд (2015; 2021)
- Запасы невозобновляемой первичной энергии: ВР (2021), Международное энергетическое агентство (2021b; 2021a; 2022)
- Солнечный и ветровой потенциалы: Ещенов и др. (2019), Ещенов и др. (2019 год)

Дополнительная информация о входных данных и методах модели содержится в самой модели (Приложение А). Входные данные документируются в модели с помощью функции LEAP Notes, которая позволяет включать пояснительный текст и цитаты в файл модели (рисунок Приложение 3.А: <sup>5</sup>Рисунок 2).

---

<sup>5</sup> [https://leap.sei.org/help/leap.htm#t=Screen\\_Layout%2FNotes.htm](https://leap.sei.org/help/leap.htm#t=Screen_Layout%2FNotes.htm).



*Рисунок 2. Просмотр входных данных LEAP, включая функцию Notes ((снимок экрана интерфейса модели LEAP)*

## Выходные данные модели

Модель может генерировать широкий спектр выходных данных, связанных с энергетическими системами стран бассейна реки Сырдарья. К ним относятся потребности в энергии по секторам и видам топлива, общий объем поставок первичной энергии, внутреннее производство различных энергоносителей, импорт и экспорт энергии, истощение невозобновляемых энергетических ресурсов, неудовлетворенные потребности в энергии и выбросы парниковых газов при производстве и потреблении энергии. В энергетическом секторе могут быть представлены данные о генерации, почасовой диспетчеризации, добавлении и выбытии мощностей, пиковой нагрузке, коэффициентах мощности, резервных маржах, сокращении использования возобновляемых источников энергии и производственных затратах. Все эти результаты могут быть сегментированы по регионам, годам и другим параметрам.

Ключевым результатом анализа по бассейну реки Сырдарья является диспетчеризация гидроэлектростанций в бассейне. Когда модель работает в комплексе с моделью водных ресурсов WEAP, модель водных ресурсов определяет доступность воды для гидроэнергетики, а модель LEAP/NEMO рассчитывает, сколько воды фактически используется для гидроэнергетики. Обе модели выполняют итерации для поиска сходящегося решения.

В дополнение к вышеупомянутым результатам LEAP и NEMO могут предоставлять различные другие результаты, как описано в их соответствующей документации (см. Платформа моделирования). Пользователи также могут добавлять пользовательские выходные переменные в модель с помощью функции индикаторов LEAP.<sup>6</sup>

## Смоделированные сценарии

Модель содержит 24 основных сценария прогнозирования. Они являются продуктом шести сценариев (тематически связанных наборов плановых решений) и четырех климатических прогнозов.

### Сценарии:

- 1) **Базовый уровень:** Базовый сценарий моделирует обычное будущее. Национальные планы экономического развития в значительной степени реализованы, тенденции роста населения продолжаются, но существенных изменений в методах управления водными и другими ресурсами или структуре сельскохозяйственных и энергетических систем не происходит. Некоторые существующие гидроэнергетические объекты восстанавливаются, но крупные новые источники гидроэнергетики не разрабатываются.
- 2) **Национальный фокус (интересы):** Сценарий национального фокуса предполагает, что страны бассейна реки Сырдарья реализуют все свои текущие планы по расширению гидроэнергетики и сельского хозяйства без учета трансграничных воздействий. В других отношениях, включая практику управления водными и другими ресурсами, этот сценарий принимает те же допущения, что и базовый.
- 3) **Усовершенствование водных и сельскохозяйственных практик, систем методов:** Этот сценарий основывается на сценарии Национального фокуса, добавляя предположение, что страны бассейна р.Сырдарья улучшают систему водопользования и сельскохозяйственную практику. Восстанавливаются и модернизируются ирригационные системы, внедряются новые культуры и схемы земледелия, а также широкомасштабно внедряется водосберегающее оборудование.
- 4) **Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов:** Этот сценарий расширяет предыдущий, предполагая, что страны бассейна р. Сырдарья реализуют национальные планы и политику, связанные с энергоэффективностью, возобновляемыми источниками энергии и предотвращением изменения климата.

<sup>6</sup> <https://leap.sei.org/help/leap.htm#t=Indicators%252FIndicators.htm>.

Что касается климата, то страны выполняют безусловные компоненты своих ОНУВ, а также национальные планы адаптации к изменению климата.

- 5) **Международное (региональное) сотрудничество:** Сценарий международного сотрудничества начинается с предыдущего и добавляет предположения о расширении международного сотрудничества по водным, энергетическим и сельскохозяйственным вопросам. В нем рассматриваются выгоды, которые могут быть достигнуты за счет улучшения трансграничной координации и обмена ресурсами в этих секторах.
- 6) **Восстановление экосистем:** Этот сценарий основывается на сценарии международного сотрудничества, вводя предположение о том, что минимальные требования к стоку воды, необходимые для поддержания Северного Арала, удовлетворены.

### Климатические прогнозы

- 1) **Исторический климат:** этот прогноз не предполагает дальнейшего изменения климата.
- 2) **Влажный климат:** это прогноз значительного изменения климата, которое делает Сырдарыинский регион более жарким и влажным.
- 3) **Сухой климат:** параллельно с влажным прогнозом, этот прогноз предполагает значительное изменение климата, которое приводит к более жарким и сухим условиям в бассейне р. Сырдарья.
- 4) **Средний:** Этот прогноз относится к умеренному уровню изменения климата, в результате чего температура в бассейне р. Сырдарья будет повышаться, но осадки останутся примерно такими же.

Подробные допущения в отношении планов, политики и целевых показателей в сценариях приведены в Приложении В.

## Приложение 3.А: Файл модели

Модель можно скачать по этой ссылке:

[https://www.riverbp.net/community\\_of\\_practice/hub/weap\\_leap/](https://www.riverbp.net/community_of_practice/hub/weap_leap/)

[https://www.riverbp.net/community\\_of\\_practice/hub/weap\\_leap/](https://www.riverbp.net/community_of_practice/hub/weap_leap/)

Она совместима с версией 2020.1.0.84 LEAP и версией 1.9 NEMO.

## Приложение 3. В: Подробные допущения в отношении планов, политики и целевых показателей в сценариях

### Базовый сценарий

#### Казахстан

- Рост реальной добавленной стоимости обрабатывающей промышленности на 80,8% в 2018-2025 годах (Правительство Республики Казахстан 2019)
- Снижение резервного запаса энергосистемы до 2030 года (Правительство Республики Казахстан 2014)

#### Кыргызская Республика

- Темпы роста реального ВВП 5% в течение 2023-2026 годов, 2,5% в течение 2030-2050 годов (Правительство Кыргызской Республики 2021а; Правительство Кыргызской Республики 2021б)
- Доход на душу населения достиг 1500 USD в 2026 году в ценах 2021 года (Правительство Кыргызской Республики 2021а)
- Реконструкция объектов Ат-Баинской, Уч-Курганской и Токтогульской гидроэлектростанций (Правительство Кыргызской Республики, 2018 г.)
- Рост авиаперевозок не менее чем на 30% в 2018-2023 гг. (Правительство КР 2018)

#### Таджикистан

- Ежегодный рост реального ВВП на 6% до 2030 г. (Республика Таджикистан 2021 г.)
- Доли ВВП к 2025 г.: промышленность - 25%, сельское хозяйство - 19%, услуги - 33% (Правительство Республики Таджикистан 2021 г.)
- 400-450 МВт новых угольных теплоэлектростанций к 2025 г. (Правительство Республики Таджикистан 2021 г.)
- Снижение потерь при передаче и распределении электроэнергии до 12% к 2025 г. (Правительство Республики Таджикистан 2021 г.)
- Реконструкция Кайрокумской, Нурекской и Сарбандской (Головной) гидроэлектростанций (Правительство Республики Таджикистан 2021 г.)

#### Узбекистан

- Доход на душу населения к 2030 г. достиг 4 тыс. 2021 долл.

- Рост добавленной стоимости в промышленности в 1,4 раза в 2021-2026 годах (Президент Республики Узбекистан 2022 г.)
- Добавленная стоимость химической и нефтехимической промышленности к 2026 году достигнет 2 тыс. долл. в ценах 2021 года
- Рост добавленной стоимости древесины и изделий из нее в 2,8 раза в 2021- 2026 годах (Президент Республики Узбекистан 2022)
- Удвоение добавленной стоимости текстильной и кожевенной продукции в 2021-2026 годах (Президент Республики Узбекистан 2022)
- Рост добавленной стоимости транспортного оборудования в 1,4 раза в 2021- 2026 годах (Президент Республики Узбекистан 2022)
- Рост производства электроэнергии на 30 млрд. кВт·ч в 2021-2026 годах (Президент Республики Узбекистан 2022)

## **Национальный фокус**

### **Казахстан**

- Существенный рост добавленной стоимости сельского хозяйства к 2050 году (целевой показатель: 5x 2013-2050) (Президент Республики Казахстан 2012)

### **Кыргызская Республика**

- Расширение Камбараты 2 (Правительство Кыргызской Республики 2018)
- Строительство Каскада Верхне-Нарынских ГЭС, Камбараты 1, Каскада Суусамыр-Кокмеренской ГЭС, Каскада Казарманской ГЭС (Правительство Кыргызской Республики 2018; Правительство Кыргызской Республики 2021а)
- 300-400 МВт новых малых гидроэлектростанций к 2026 году (Правительство Кыргызской Республики 2021а)

### **Таджикистан**

- Строительство следующих гидроэлектростанций: Рогунская, Шуробская, Санабадская, Себзорская, бассейн реки Зеравшан (Правительство Республики Таджикистан 2021)
- Экспорт электроэнергии достигнет 5 млрд кВт·ч к 2025 году (Правительство Республики Таджикистан 2021)

### **Узбекистан**

- Добавленная стоимость в сельском хозяйстве растет на 5% ежегодно в течение 2021-2026 годов (Президент Республики Узбекистан 2022)

## **Усовершенствование водных и сельскохозяйственных практик, систем методов**

*Отсутствие изменений во входных данных для конкретной модели по сравнению с предыдущим сценарием*

## **Усовершенствование энергетических и климатических практик, систем, методов**

- Все системы перекачивания воды в бассейне р.Сырдарья (для сельскохозяйственного, промышленного и бытового использования) перешли на высокоэффективные насосы к 2030 году (предположение, разработанное с заинтересованными сторонами Регионального проекта)

### **Казахстан**

- Снижение на 10% электроемкости производства цветных, черных металлов и химикатов в 2021-2025 годах (Республика Казахстан 2021)
- Снижение энергопотребления в жилищном секторе на 15% в 2021-2025 годах (Республика Казахстан 2021)
- 50% традиционного автомобильного транспорта перешли на электричество к 2050 году (предположение, разработанное с заинтересованными сторонами Проекта)
- Эффективность производства тепла к 2030 году повысится до 90% (Президент Республики Казахстан 2013)
- Потери при передаче и распределении тепла снижены до 10% к 2030 году (Президент Республики Казахстан 2013)
- Производство солнечной, ветровой, гидро-, атомной и газовой электроэнергии: 55% от общенационального объема к 2030 году, 100% к 2050 году (Президент Республики Казахстан 2013)
- 12 млн тонн экономии энергоэффективности, реализованных к 2030 году (Правительство Республики Казахстан 2014)
- Снижение энергоемкости ВВП (базовый уровень 2008 года) – 30% к 2030 году, 50% к 2050 году (Президент Республики Казахстан 2013)
- Сокращение выбросов CO<sub>2</sub> от производства электроэнергии (базовый уровень 2012 года) – 15% к 2030 году, 40% к 2050 году (Президент Республики Казахстан 2013)
- Сокращение выбросов парниковых газов в масштабах всей экономики на 15% к 2030 году (базовый уровень 1990 года) (Республика Казахстан 2016 год)

### **Кыргызская Республика**

- Электрификация железнодорожного транспорта на 60% к 2040 году (Правительство Кыргызской Республики 2018)
- Снижение потерь при передаче и распределении электроэнергии на 11,6% в 2018-2023 годах (Правительство Кыргызской Республики 2018)
- 10% возобновляемых источников энергии в общем объеме поставок первичной энергии к 2040 году (Правительство Кыргызской Республики 2018)
- Другие меры по смягчению последствий изменения климата по ОНУВ (Правительство Кыргызской Республики 2021b)
  - Снижение потребления угля за счет газификации домашних хозяйств
  - Улучшение управления дорожным движением и развитие велосипедной инфраструктуры
  - Замена автобусов с дизельными/бензиновыми топливными двигателями на автобусы с газовыми двигателями в Бишкеке

- о Строительство новых зданий в соответствии с энергоэффективными CSR

## **Таджикистан**

- Выбросы парниковых газов в энергетическом секторе к 2030 году сократятся до 12,8-15,0 млн тонн CO2-эквивалента (Республика Таджикистан 2021)
- Снижение интенсивности использования электроэнергии в коммерческих и жилых помещениях на 10% к 2024 году (Gauss International Consulting S.L. 2020)
- Коммерческий и бытовой спрос на энергоносители с угля переключился на электроэнергию к 2030 году (Gauss International Consulting S.L. 2020)
- Повышение энергоэффективности промышленности на 10% к 2030 году (предположение SEI основано на ОНУВ)
- 65% бензинового и дизельного автомобильного транспорта перешли на газ к 2026 году (Gauss International Consulting S.L. 2020)
- 50% традиционного автомобильного транспорта перешли на электричество к 2050 году (предположение SEI основано на ОНУВ)
- Снижение энергоемкости международных бункеров, неэнергетического использования энергии и других различных видов использования энергии на 15% к 2030 году (предположение SEI, основанное NDC)
- 83% возобновляемой электроэнергии к 2030 году (предположение SEI основано на ОНУВ)

## **Узбекистан**

- 50% традиционного автомобильного транспорта перешло на электроэнергию к 2050 году (Президент Республики Узбекистан 2022)
- 60% железнодорожного транспорта электрифицировано к 2026 году (Президент Республики Узбекистан 2022)
- Повышение энергоэффективности промышленности на 20% в 2019-2030 годы (Президент Республики Узбекистан 2019)
- 25% выработки электроэнергии из возобновляемых источников энергии к 2026 году (Президент Республики Узбекистан 2022)
- 5 ГВт новой солнечной энергии, 3 ГВт новой ветровой и 1,9 ГВт новых гидроэлектротурбин на 2022-2030 годы (Республика Узбекистан 2021)
- Снижение энергоемкости ВВП на 50% в 2010-2030 годах (Республика Узбекистан 2021)
- Снижение интенсивности выбросов парниковых газов в ВВП на 2010-2030 годы (Республика Узбекистан 2021)

---

## **Международное сотрудничество**

*Отсутствие изменений во входных данных для конкретной модели по сравнению с предыдущим путем*

## **Восстановление экосистем**

*Отсутствие изменений во входных данных для конкретной модели по сравнению с предыдущим путем*

## Ссылки

- Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан  
Бюро национальной статистики (2022а). *ВВП в текущих ценах*.  
<https://stat.gov.kz/api/getFile/?docId=ESTAT104933&lang=en>.
- Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан  
Бюро национальной статистики (2022б). *Структура ВВП*.  
<https://stat.gov.kz/official/industry/11/statistic/7>.
- Агентство по статистике, Р. Т. (2018). *Статистический ежегодник Республики Таджикистан*. Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан.  
<https://www.stat.tj/en/news/publications/statistical-yearbook-of-the-republic-of-tajikistan-was-released>.
- Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан (н.д.). *Объем промышленного производства по секторам в постоянных ценах, 1980–2019 гг.*  
[http://stat.ww.tj/library/en/table\\_9.xls](http://stat.ww.tj/library/en/table_9.xls).
- Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан (н.д.).  
*Номинальный ВВП по отраслям происхождения, 1995–2019 гг.*  
<https://www.stat.tj/en/tables-real-sector>.
- BP (2021). ВР Статистический обзор мировой энергетики 2021.  
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- Бюро национальной статистики Казахстана (2019). Промышленность Казахстана и его регионов, 2014–2018 гг.  
<https://stat.gov.kz/api/getFile/?docId=ESTAT331512&lang=en>.
- Бюро национальной статистики Казахстана (2021а). Промышленность Казахстана и его регионов, 2016–2020 гг.  
<https://stat.gov.kz/api/getFile/?docId=ESTAT433689&lang=en>.
- Бюро национальной статистики Казахстана (2021б). Основные социально-экономические показатели Республики Казахстан.  
<https://stat.gov.kz/api/getFile/?docId=ESTAT105377>.
- Ещанов Б., Абылқасымова А., Аминьоно Ф., Оверленд И. и Вакульчук Р. (2019). Потенциал солнечной энергетики стран Центральной Азии. *Обзор региональных данных по Центральной Азии*, 18. 1–7.
- Ещанов Б., Абылқасымова А., Аминджонов Ф., Молдоканов Д., Оверланд И. и Вакульчук Р. (2019). Ветроэнергетический потенциал стран Центральной Азии. *Обзор региональных данных по Центральной Азии*, 17. 1–7.
- Gauss International Consulting S.L. (2020). *Прогнозирование выбросов парниковых газов в ключевых секторах и оценка воздействия политики и мер по смягчению последствий изменения климата Технический доклад: прогнозы выбросов парниковых газов до 2030 года в Таджикистане*. ПРООН Таджикистан.
- Правительство Кыргызской Республики (2018). Национальная стратегия: Развитие Кыргызской Республики на период 2018–2040 гг.
- Правительство Кыргызской Республики (2021а). Национальная программа развития Кыргызской Республики до 2026 года.
- Правительство Кыргызской Республики (2021б). Обновленный определяемый на национальном уровне вклад Кыргызской Республики.  
<https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/%D0%9E%D0%9D%D0%A3%D0%92%20ENG%20%D0%BE%D1%82%2008102021.pdf>.
- Правительство Республики Казахстан (2014). Концепция развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года.

Правительство Республики Казахстан (2019). Государственная программа: Индустриально-инновационное развитие Республики Казахстан на 2020 - 2025 годы.

Правительство Республики Таджикистан (2021). Среднесрочная программа развития Республики Таджикистан на 2021-2025 годы.  
<http://ied.tj/en/medium-term-development-program-republic-tajikistan-2021-2025>.

Международное энергетическое агентство (2021а). Энергетический профиль Кыргызской Республики.  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/c71e642f-e0fd-4c9c-b910-c7adda2cf6c9/KyrgyzRepublicEnergyProfile.pdf>.

Международное энергетическое агентство (2021б). Энергетический профиль Узбекистана.  
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/8c1cefe6-4c29-46b0-82fa-c524714e54a5/UzbekistanEnergyProfile.pdf>.

Международное энергетическое агентство (2021с). Мировые энергетические балансы 2021.  
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>.

Международное энергетическое агентство (2021д). *Перспективы мировой энергетики до 2021 года*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>.

Международное энергетическое агентство (2022). Таджикистан.  
<https://www.eu4energy.iea.org/Pages/CreatePDF.aspx?Country=Tajikistan>.

Международный валютный фонд (2015). Шаблон энергетических субсидий 2015.  
<https://www.imf.org/external/np/fad/subsidies/data/subsidiestemplate.xlsx>.

Международный валютный фонд (2021). Шаблон энергетической субсидии 2021.  
<https://www.imf.org/-/media/Files/Topics/Environment/energy-subsidies/fuel-subsidies-template-2021-updated-131021.ashx>.

Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (2021). Годовой технологический базовый уровень 2021 года. <https://atb.nrel.gov/>.

Национальный статистический комитет Кыргызской Республики (2021).  
1.04.01.01: Производство промышленных товаров - Объем по видам экономической деятельности (млн сомов).  
<http://stat.kg/en/statistics/download/dynamic/1162/>.

Национальный статистический комитет Кыргызской Республики (н.д.). *Структура ВВП*. <http://www.stat.kg/en/statistics/download/dynamic/1178/>.

Платтс (2021). База данных UDI World Electric Power Plants, версия 2020 года. Президент Республики Казахстан (2012). Стратегия Казахстан 2050.

Президент Республики Казахстан (2013). Концепция перехода Республики Казахстан к зеленой экономике.

Президент Республики Узбекистан (2019). Утверждение Стратегии перехода Республики Узбекистан к «зеленой» экономике на период 2019-2030 годов.

Президент Республики Узбекистан (2022). О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы. <https://lex.uz/ru/docs/5841077>.

Республика Казахстан (2016). Предполагаемый определяемый на национальном уровне вклад - Представление Республики Казахстан.  
[https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/INDC%20Kz\\_eng.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/INDC%20Kz_eng.pdf).

Республика Казахстан (2021). Национальный проект «Зеленый Казахстан».

Республика Таджикистан (2021). Обновленный НДЦ Республики Таджикистан.  
[https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/NDC\\_TAJIKISTAN\\_ENG.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/NDC_TAJIKISTAN_ENG.pdf).

Республика Узбекистан (2021). Обновленный определяемый на национальном уровне вклад. [https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Uzbekistan\\_Updated%20NDC\\_2021\\_EN.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Uzbekistan_Updated%20NDC_2021_EN.pdf).

Государственный комитет по статистике Республики Узбекистан (2022a). Производство промышленной продукции по видам экономической деятельности. <https://api.stat.uz/api/v1.0/data/iqtisodiy-faoliyat-turi-boyicha-sanoat-mahsulotla?lang=uz&format=xlsx>.

Государственный комитет по статистике Республики Узбекистан (2022b). Структура обрабатывающей промышленности. <https://api.stat.uz/api/v1.0/data/ishlab-chiqarish-sanoatining-tarkibi?lang=uz&format=xlsx>.

Государственный комитет по статистике Республики Узбекистан (2022c). Структура валового внутреннего продукта по видам экономической деятельности. <https://stat.uz/uz/rasmiy-statistika/national-accounts-2>.

Департамент ООН по экономическим и социальным вопросам (2019). Мировые демографические перспективы 2019. <https://population.un.org/wpp/>.

Всемирный банк (2022). ВВП Текущий US\$, NY.GDP.MKTP.CD. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4:

# ПРИМЕР ФАЙЛА ЖУРНАЛА

```

[2022-10-02 08:44:49.072] INFO:Validating branches in WEAP and LEAP
[2022-10-02 08:44:50.006] INFO:Running the model for regions:
[2022-10-02 08:44:50.006] INFO:          Kazakhstan
[2022-10-02 08:44:50.035] INFO:          Kyrgyzstan
[2022-10-02 08:44:50.054] INFO:          Tajikistan
[2022-10-02 08:44:50.072] INFO:          Uzbekistan
[2022-10-02 08:44:50.094] INFO:Including LEAP hydropower plants:
[2022-10-02 08:44:50.094] INFO:          AKHANGARAN
[2022-10-02 08:44:50.141] INFO:          ANDIJAN_1
[2022-10-02 08:44:50.184] INFO:          AKKAVAK_1
[2022-10-02 08:44:50.263] INFO:          ANDIJAN_2
[2022-10-02 08:44:50.339] INFO:          AT_BASHIN
[2022-10-02 08:44:50.385] INFO:          CHARVAK
[2022-10-02 08:44:50.438] INFO:          CHIRCHIK_1
[2022-10-02 08:44:50.500] INFO:          CHIRCHIK_2
[2022-10-02 08:44:50.549] INFO:          FARKHAD
[2022-10-02 08:44:50.605] INFO:          GAZLKENT
[2022-10-02 08:44:50.652] INFO:          KAIRAKKUM
[2022-10-02 08:44:50.720] INFO:          KAMBARATA_1
[2022-10-02 08:44:50.770] INFO:          KAMBARATA_2
[2022-10-02 08:44:50.815] INFO:          KHODZHIKENT
[2022-10-02 08:44:50.883] INFO:          KURPSAI
[2022-10-02 08:44:50.937] INFO:          SHAMALDYSAI
[2022-10-02 08:44:50.992] INFO:          SHARDARINSKYA
[2022-10-02 08:44:51.087] INFO:          TASH_KUMYR
[2022-10-02 08:44:51.178] INFO:          TAVAK
[2022-10-02 08:44:51.273] INFO:          TOKTOGUL
[2022-10-02 08:44:51.368] INFO:          UCH_KURGANSK
[2022-10-02 08:44:51.630] INFO:          KOKOMEREN
[2022-10-02 08:44:51.788] INFO:          UPPER NARYN
[2022-10-02 08:44:51.889] INFO:          KAZARMAN
[2022-10-02 08:44:51.971] INFO:Including WEAP hydropower reservoirs:
[2022-10-02 08:44:51.971] INFO:          Toktogul
[2022-10-02 08:44:52.007] INFO:          Kambarata_I
[2022-10-02 08:44:52.015] INFO:          Kambarata_II
[2022-10-02 08:44:52.049] INFO:          Kayrakkum
[2022-10-02 08:44:52.061] INFO:          Shardara
[2022-10-02 08:44:52.074] INFO:          Kurpsaiskaja
[2022-10-02 08:44:52.089] INFO:          Taschkumyrskaja
[2022-10-02 08:44:52.103] INFO:          Farkhad
[2022-10-02 08:44:52.114] INFO:          Akhangaran
[2022-10-02 08:44:52.123] INFO:          Charvak
[2022-10-02 08:44:52.133] INFO:          Chirchik
[2022-10-02 08:44:52.146] INFO:          Andijan
[2022-10-02 08:44:52.156] INFO:          At-Bashi
[2022-10-02 08:44:52.171] INFO:          Kokomeren
[2022-10-02 08:44:52.178] INFO:          Upper Naryn
[2022-10-02 08:44:52.187] INFO:          Kazarman
[2022-10-02 08:44:57.915] INFO:Calculating the following scenarios:
[2022-10-02 08:44:57.915] INFO:          S1 Baseline Historical (LEAP) ↔ S1 Historical (WEAP)
[2022-10-02 08:44:58.348] INFO:Clearing hydropower reservoir energy demand from WEAP scenarios to
avoid forcing model with results from past integration runs.
[2022-10-02 08:45:04.946] INFO:Running LEAP-Macro for scenario: S1 Baseline Historical
[2022-10-02 08:45:04.946] INFO:          Region: Kazakhstan
[2022-10-02 08:45:04.946] INFO:          Executing: C:\Users\EricKemp-
Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe "C:\Users\EricKemp-
Benedict\Documents\WAVE_Macro\KAZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -v -y
2050
[2022-10-02 08:46:08.694] INFO:          Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 08:46:08.694] INFO:          Executing: C:\Users\EricKemp-
Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe "C:\Users\EricKemp-
Benedict\Documents\WAVE_Macro\KGZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -v -y
2050
[2022-10-02 08:47:11.194] INFO:Pushing demographic and macroeconomic drivers from LEAP to WEAP
[2022-10-02 08:47:11.194] INFO:          Population_KAZ
[2022-10-02 08:47:20.456] INFO:          Population_KGZ
[2022-10-02 08:47:29.844] INFO:          Population_TJK
[2022-10-02 08:47:39.700] INFO:          Population_UZB
[2022-10-02 08:47:49.527] INFO:          GDP_KAZ
[2022-10-02 08:47:59.479] INFO:          GDP_KGZ
[2022-10-02 08:48:10.162] INFO:          GDP_TJK

```

```

[2022-10-02 08:48:20.396]INFO: GDP_UZB
[2022-10-02 08:48:30.428]INFO: Industrial_VA_KAZ
[2022-10-02 08:48:40.544]INFO: Industrial_VA_KGZ
[2022-10-02 08:48:50.431]INFO: Industrial_VA_TJK
[2022-10-02 08:49:00.630]INFO: Industrial_VA_UZB
[2022-10-02 08:49:10.716]INFO:Pushed 12 variable(s) to WEAP
[2022-10-02 08:49:10.721]INFO:Calculating WEAP (iteration 1)
[2022-10-02 08:51:50.672]INFO:Finished calculating WEAP. Moving hydropower maximum availabilities
from WEAP to LEAP....
[2022-10-02 08:51:53.666]INFO:WEAP scenario: S1 Historical
[2022-10-02 08:51:53.666]INFO: WEAP hydropower reservoir: Toktogul
[2022-10-02 08:51:57.001]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch88_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:51:59.889]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TOKTOGUL
[2022-10-02 08:52:03.103]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kambarata_I
[2022-10-02 08:52:07.167]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kambarata_II
[2022-10-02 08:52:11.376]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5677_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:52:11.742]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KAMBARATA_2
[2022-10-02 08:52:15.063]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kayrakkum
[2022-10-02 08:52:19.273]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch106_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:52:19.592]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KAIRAKKUM
[2022-10-02 08:52:23.083]INFO: WEAP hydropower reservoir: Shardara
[2022-10-02 08:52:27.308]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch108_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:52:27.619]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: SHARDARINSKYA
[2022-10-02 08:52:31.378]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kurpsaiskaja
[2022-10-02 08:52:35.564]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1364_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:52:35.872]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KURPSAI
[2022-10-02 08:52:39.267]INFO: WEAP hydropower reservoir: Taschkumyrskaja
[2022-10-02 08:52:50.999]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1366_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:52:51.411]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TASH_KUMYR
[2022-10-02 08:52:54.798]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: SHAMALDYSAI
[2022-10-02 08:52:57.492]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: UCH_KURGANSK
[2022-10-02 08:53:00.270]INFO: WEAP hydropower reservoir: Farkhad
[2022-10-02 08:53:04.564]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1371_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:53:04.850]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: FARKHAD
[2022-10-02 08:53:08.500]INFO: WEAP hydropower reservoir: Akhangaran
[2022-10-02 08:53:12.734]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch637_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:53:13.037]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AKHANGARAN
[2022-10-02 08:53:16.599]INFO: WEAP hydropower reservoir: Charvak
[2022-10-02 08:53:28.160]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch103_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:53:28.467]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHARVAK
[2022-10-02 08:53:32.085]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: GAZLKENT
[2022-10-02 08:53:34.772]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KHODZHIKENT
[2022-10-02 08:53:37.430]INFO: WEAP hydropower reservoir: Chirchik
[2022-10-02 08:53:52.621]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1369_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:53:52.919]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AKKAVAK_1
[2022-10-02 08:53:56.559]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_1
[2022-10-02 08:53:59.264]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_2
[2022-10-02 08:54:01.953]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TAVAK
[2022-10-02 08:54:04.663]INFO: WEAP hydropower reservoir: Andijan
[2022-10-02 08:54:12.529]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch226_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:54:12.836]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_1
[2022-10-02 08:54:16.326]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_2
[2022-10-02 08:54:18.983]INFO: WEAP hydropower reservoir: At-Bashi
[2022-10-02 08:54:23.159]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5675_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 08:54:23.489]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AT_BASHIN
[2022-10-02 08:54:26.627]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kokomeren
[2022-10-02 08:54:30.703]INFO: WEAP hydropower reservoir: Upper Naryn
[2022-10-02 08:54:34.754]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kazarman
[2022-10-02 08:54:38.857]INFO:Moving water pumping information from WEAP to LEAP

```

```

[2022-10-02 08:54:38.857]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical
(LEAP)
[2022-10-02 08:54:39.570]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 08:54:40.228]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 08:54:40.762]INFO: Region: Tajikistan
[2022-10-02 08:54:41.438]INFO: Region: Uzbekistan
[2022-10-02 08:54:41.607]INFO:Moving industrial water requirements from WEAP to LEAP
[2022-10-02 08:54:41.614]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical
(LEAP)
[2022-10-02 08:54:42.294]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 08:54:43.000]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 08:54:43.574]INFO: Region: Tajikistan
[2022-10-02 08:54:44.258]INFO: Region: Uzbekistan
[2022-10-02 08:54:44.432]INFO:Calculating LEAP area (iteration 1)
[2022-10-02 09:08:54.509]INFO:Saving LEAP and WEAP areas
[2022-10-02 09:09:11.963]INFO:Saving versions for iteration 1
[2022-10-02 09:09:45.175]INFO:Checking LEAP results...
[2022-10-02 09:10:08.418]INFO:Checking Macro results...
[2022-10-02 09:10:09.141]INFO:Checking WEAP results...
[2022-10-02 09:10:09.467]INFO:Pushing WEAP results to Macro...
[2022-10-02 09:10:30.481]INFO:Processing for WEAP scenario: S1 Historical
[2022-10-02 09:10:31.048]INFO:Running LEAP-Macro for scenario: S1 Baseline Historical
[2022-10-02 09:10:31.048]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 09:10:31.048]INFO: Executing: C:\Users\EricKemp-
Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe "C:\Users\EricKemp-
Benedict\Documents\WAVE_Macro\KAZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -w -v -y
2050 -u 38 -r 1 --load-leap-first
[2022-10-02 09:46:46.980]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 09:46:46.981]INFO: Executing: C:\Users\EricKemp-
Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe "C:\Users\EricKemp-
Benedict\Documents\WAVE_Macro\KGZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -w -v -y
2050 -u 38 -r 1 --load-leap-first
[2022-10-02 09:48:53.046]INFO:Pushing demographic and macroeconomic drivers from LEAP to WEAP
[2022-10-02 09:48:53.046]INFO: Population_KAZ
[2022-10-02 09:49:02.133]INFO: Population_KGZ
[2022-10-02 09:49:09.840]INFO: Population_TJK
[2022-10-02 09:49:18.071]INFO: Population_UZB
[2022-10-02 09:49:25.827]INFO: GDP_KAZ
[2022-10-02 09:49:33.858]INFO: GDP_KGZ
[2022-10-02 09:49:41.649]INFO: GDP_TJK
[2022-10-02 09:49:48.914]INFO: GDP_UZB
[2022-10-02 09:49:56.034]INFO: Industrial_VA_KAZ
[2022-10-02 09:50:03.643]INFO: Industrial_VA_KGZ
[2022-10-02 09:50:11.474]INFO: Industrial_VA_TJK
[2022-10-02 09:50:18.773]INFO: Industrial_VA_UZB
[2022-10-02 09:50:25.769]INFO:Pushed 12 variable(s) to WEAP
[2022-10-02 09:50:25.781]INFO:Calculating WEAP (iteration 2)
[2022-10-02 09:53:03.669]INFO:Finished calculating WEAP. Moving hydropower maximum availabilities
from WEAP to LEAP....
[2022-10-02 09:53:04.293]INFO:WEAP scenario: S1 Historical
[2022-10-02 09:53:04.293]INFO: WEAP hydropower reservoir: Toktogul
[2022-10-02 09:53:06.722]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch88_1scenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:53:09.706]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TOKTOGUL
[2022-10-02 09:53:13.203]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kambarata_I
[2022-10-02 09:53:17.199]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kambarata_II
[2022-10-02 09:53:21.390]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5677_1scenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:53:21.737]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KAMBARATA_2
[2022-10-02 09:53:25.554]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kayrakkum
[2022-10-02 09:53:29.696]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch106_1scenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:53:30.004]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KAIRAKKUM
[2022-10-02 09:53:33.837]INFO: WEAP hydropower reservoir: Shardara
[2022-10-02 09:53:38.283]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch108_1scenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:53:38.636]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: SHARDARINSKYA
[2022-10-02 09:53:42.528]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kurpsaiskaja
[2022-10-02 09:53:46.688]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1364_1scenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:53:47.004]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KURPSAI

```

```

[2022-10-02 09:53:50.813]INFO: WEAP hydropower reservoir: Taschkumyrskaja
[2022-10-02 09:54:02.612]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1366_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:54:02.947]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TASH_KUMYR
[2022-10-02 09:54:06.676]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: SHAMALDYSAI
[2022-10-02 09:54:09.673]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: UCH_KURGANSK
[2022-10-02 09:54:12.719]INFO: WEAP hydropower reservoir: Farkhad
[2022-10-02 09:54:16.896]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1371_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:54:17.182]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: FARKHAD
[2022-10-02 09:54:20.922]INFO: WEAP hydropower reservoir: Akhangaran
[2022-10-02 09:54:25.114]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch637_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:54:25.495]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AKHANGARAN
[2022-10-02 09:54:29.608]INFO: WEAP hydropower reservoir: Charvak
[2022-10-02 09:54:41.457]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch103_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:54:41.772]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHARVAK
[2022-10-02 09:54:45.599]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: GAZLKENT
[2022-10-02 09:54:48.710]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KHODZHIKENT
[2022-10-02 09:54:51.660]INFO: WEAP hydropower reservoir: Chirchik
[2022-10-02 09:55:06.984]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1369_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:55:07.323]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AKKAVAK_1
[2022-10-02 09:55:11.293]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_1
[2022-10-02 09:55:14.403]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_2
[2022-10-02 09:55:17.573]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TAVAK
[2022-10-02 09:55:20.582]INFO: WEAP hydropower reservoir: Andijan
[2022-10-02 09:55:28.343]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch226_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:55:28.669]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_1
[2022-10-02 09:55:32.450]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_2
[2022-10-02 09:55:36.344]INFO: WEAP hydropower reservoir: At-Bashi
[2022-10-02 09:55:40.788]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5675_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 09:55:41.154]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AT_BASHIN
[2022-10-02 09:55:44.958]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kokomeren
[2022-10-02 09:55:49.103]INFO: WEAP hydropower reservoir: Upper Naryn
[2022-10-02 09:55:53.166]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kazarman
[2022-10-02 09:55:57.207]INFO: Moving water pumping information from WEAP to LEAP
[2022-10-02 09:55:57.207]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical (LEAP)
[2022-10-02 09:55:58.272]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 09:55:59.320]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 09:56:00.271]INFO: Region: Tajikistan
[2022-10-02 09:56:01.359]INFO: Region: Uzbekistan
[2022-10-02 09:56:01.459]INFO: Moving industrial water requirements from WEAP to LEAP
[2022-10-02 09:56:01.490]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical (LEAP)
[2022-10-02 09:56:02.736]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 09:56:03.898]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 09:56:04.859]INFO: Region: Tajikistan
[2022-10-02 09:56:05.946]INFO: Region: Uzbekistan
[2022-10-02 09:56:06.046]INFO: Calculating LEAP area (iteration 2)
[2022-10-02 10:11:35.508]INFO: Saving LEAP and WEAP areas
[2022-10-02 10:11:58.331]INFO: Saving versions for iteration 2
[2022-10-02 10:12:32.763]INFO: Checking LEAP results...
[2022-10-02 10:12:56.445]INFO: Checking Macro results...
[2022-10-02 10:12:57.198]INFO: Checking WEAP results...
[2022-10-02 10:12:57.516]INFO: Checking whether calculations converged...
[2022-10-02 10:12:57.523]INFO: Difference exceeded tolerance for LEAP result "KURPSAI" in year 2036 of scenario "S1 Baseline Historical": previous value = 2023.6231399330525, current value = 1798.9459385139971
[2022-10-02 10:12:57.523]INFO: Results did not converge. Iterating...
[2022-10-02 10:12:57.524]INFO: Pushing WEAP results to Macro...
[2022-10-02 10:13:19.114]INFO: Processing for WEAP scenario: S1 Historical
[2022-10-02 10:13:19.706]INFO: Running LEAP-Macro for scenario: S1 Baseline Historical
[2022-10-02 10:13:19.706]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 10:13:19.706]INFO: Executing: C:\Users\EricKemp-Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe "C:\Users\EricKemp-

```

```

Benedict\Documents\WAVE_Macro\KAZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -w -v -y
2050 -u 41 -r 2 --load-leap-first
[2022-10-02 10:15:42.497]INFO:           Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 10:15:42.497]INFO:           Executing: C:\Users\EricKemp-
Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe   "C:\Users\EricKemp-
Benedict\Documents\WAVE_Macro\KGZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -w -v -y
2050 -u 41 -r 2 --load-leap-first
[2022-10-02 10:17:59.540]INFO:Pushing demographic and macroeconomic drivers from LEAP to WEAP
[2022-10-02 10:17:59.540]INFO:           Population_KAZ
[2022-10-02 10:18:06.930]INFO:           Population_KGZ
[2022-10-02 10:18:14.355]INFO:           Population_TJK
[2022-10-02 10:18:21.924]INFO:           Population_UZB
[2022-10-02 10:18:29.375]INFO:           GDP_KAZ
[2022-10-02 10:18:36.994]INFO:           GDP_KGZ
[2022-10-02 10:18:44.521]INFO:           GDP_TJK
[2022-10-02 10:18:52.175]INFO:           GDP_UZB
[2022-10-02 10:18:59.127]INFO:           Industrial_VA_KAZ
[2022-10-02 10:19:06.025]INFO:           Industrial_VA_KGZ
[2022-10-02 10:19:12.651]INFO:           Industrial_VA_TJK
[2022-10-02 10:19:19.443]INFO:           Industrial_VA_UZB
[2022-10-02 10:19:26.367]INFO:Pushed 12 variable(s) to WEAP
[2022-10-02 10:19:26.378]INFO:Calculating WEAP (iteration 3)
[2022-10-02 10:22:08.994]INFO:Finished calculating WEAP. Moving hydropower maximum availabilities
from WEAP to LEAP....
[2022-10-02 10:22:09.689]INFO:WEAP scenario: S1 Historical
[2022-10-02 10:22:09.689]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Toktogul
[2022-10-02 10:22:13.493]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch88_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:22:16.407]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: TOKTOGUL
[2022-10-02 10:22:20.159]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Kambarata_I
[2022-10-02 10:22:24.387]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Kambarata_II
[2022-10-02 10:22:28.844]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5677_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:22:29.374]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: KAMBARATA_2
[2022-10-02 10:22:33.321]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Kayrakkum
[2022-10-02 10:22:38.844]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch106_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:22:39.398]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: KAIRAKKUM
[2022-10-02 10:22:43.662]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Shardara
[2022-10-02 10:22:49.074]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch108_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:22:49.464]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: SHARDARINSKYA
[2022-10-02 10:22:53.776]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Kurpsaiskaja
[2022-10-02 10:22:59.907]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1364_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:23:00.276]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: KURPSAI
[2022-10-02 10:23:04.754]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Taschkumyrskaja
[2022-10-02 10:23:17.263]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1366_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:23:17.569]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: TASH_KUMYR
[2022-10-02 10:23:21.835]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: SHAMALDYSAI
[2022-10-02 10:23:25.016]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: UCH_KURGANSK
[2022-10-02 10:23:28.340]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Farkhad
[2022-10-02 10:23:32.539]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1371_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:23:32.847]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: FARKHAD
[2022-10-02 10:23:36.855]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Akhangaran
[2022-10-02 10:23:41.132]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch637_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:23:41.461]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: AKHANGARAN
[2022-10-02 10:23:45.217]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Charvak
[2022-10-02 10:23:57.584]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch103_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:23:57.934]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: CHARVAK
[2022-10-02 10:24:01.428]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: GAZLKENT
[2022-10-02 10:24:04.519]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: KHODZHIKENT
[2022-10-02 10:24:07.581]INFO:           WEAP hydropower reservoir: Chirchik
[2022-10-02 10:24:23.634]INFO:           Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1369_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:24:23.951]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: AKKAVAK_1
[2022-10-02 10:24:27.769]INFO:           Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_1

```

```

[2022-10-02 10:24:30.788]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_2
[2022-10-02 10:24:33.937]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TAVAK
[2022-10-02 10:24:37.202]INFO: WEAP hydropower reservoir: Andijan
[2022-10-02 10:24:45.313]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch226_1scenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:24:45.647]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_1
[2022-10-02 10:24:49.979]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_2
[2022-10-02 10:24:54.023]INFO: WEAP hydropower reservoir: At-Bashi
[2022-10-02 10:24:58.625]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5675_1scenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:24:58.973]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AT_BASHIN
[2022-10-02 10:25:03.267]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kokomeren
[2022-10-02 10:25:07.335]INFO: WEAP hydropower reservoir: Upper Naryn
[2022-10-02 10:25:12.691]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kazarman
[2022-10-02 10:25:17.405]INFO: Moving water pumping information from WEAP to LEAP
[2022-10-02 10:25:17.405]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical
(LEAP)
[2022-10-02 10:25:18.536]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 10:25:19.619]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 10:25:20.526]INFO: Region: Tajikistan
[2022-10-02 10:25:21.701]INFO: Region: Uzbekistan
[2022-10-02 10:25:21.830]INFO: Moving industrial water requirements from WEAP to LEAP
[2022-10-02 10:25:21.857]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical
(LEAP)
[2022-10-02 10:25:23.174]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 10:25:24.264]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 10:25:25.212]INFO: Region: Tajikistan
[2022-10-02 10:25:26.294]INFO: Region: Uzbekistan
[2022-10-02 10:25:26.404]INFO: Calculating LEAP area (iteration 3)
[2022-10-02 10:41:11.702]INFO: Saving LEAP and WEAP areas
[2022-10-02 10:41:34.040]INFO: Saving versions for iteration 3
[2022-10-02 10:42:09.646]INFO: Checking LEAP results...
[2022-10-02 10:42:34.901]INFO: Checking Macro results...
[2022-10-02 10:42:35.679]INFO: Checking WEAP results...
[2022-10-02 10:42:36.102]INFO: Checking whether calculations converged...
[2022-10-02 10:42:36.141]INFO: Difference exceeded tolerance for LEAP result "KURPSAI" in year
2037 of scenario "S1 Baseline Historical": previous value = 1644.7050494994025, current value =
1467.1263496518939
[2022-10-02 10:42:36.141]INFO: Results did not converge. Iterating...
[2022-10-02 10:42:36.141]INFO: Pushing WEAP results to Macro...
[2022-10-02 10:43:00.413]INFO: Processing for WEAP scenario: S1 Historical
[2022-10-02 10:43:01.031]INFO: Running LEAP-Macro for scenario: S1 Baseline Historical
[2022-10-02 10:43:01.031]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 10:43:01.031]INFO: Executing: C:\Users\EricKemp-
Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe "C:\Users\EricKemp-
Benedict\Documents\WAVE_Macro\KAZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -w -v -y
2050 -u 44 -r 3 --load-leap-first
[2022-10-02 10:47:14.919]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 10:47:14.919]INFO: Executing: C:\Users\EricKemp-
Benedict\AppData\Local\Programs\Julia-1.6.3\bin\julia.exe "C:\Users\EricKemp-
Benedict\Documents\WAVE_Macro\KGZ_Macro\runleapmacro.jl" "S1 Baseline Historical" -c -p -w -v -y
2050 -u 44 -r 3 --load-leap-first
[2022-10-02 10:49:21.955]INFO: Pushing demographic and macroeconomic drivers from LEAP to WEAP
[2022-10-02 10:49:21.955]INFO: Population_KAZ
[2022-10-02 10:49:29.207]INFO: Population_KGZ
[2022-10-02 10:49:38.063]INFO: Population_TJK
[2022-10-02 10:49:54.009]INFO: Population_UZB
[2022-10-02 10:50:08.564]INFO: GDP_KAZ
[2022-10-02 10:50:19.853]INFO: GDP_KGZ
[2022-10-02 10:50:30.484]INFO: GDP_TJK
[2022-10-02 10:50:43.932]INFO: GDP_UZB
[2022-10-02 10:50:53.274]INFO: Industrial_VA_KAZ
[2022-10-02 10:51:01.552]INFO: Industrial_VA_KGZ
[2022-10-02 10:51:09.855]INFO: Industrial_VA_TJK
[2022-10-02 10:51:18.587]INFO: Industrial_VA_UZB
[2022-10-02 10:51:26.020]INFO: Pushed 12 variable(s) to WEAP
[2022-10-02 10:51:26.031]INFO: Calculating WEAP (iteration 4)
[2022-10-02 10:54:08.709]INFO: Finished calculating WEAP. Moving hydropower maximum availabilities
from WEAP to LEAP...
[2022-10-02 10:54:09.376]INFO: WEAP scenario: S1 Historical
[2022-10-02 10:54:09.376]INFO: WEAP hydropower reservoir: Toktogul

```

```

[2022-10-02 10:54:11.849]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch88_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:54:14.743]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TOKTOGUL
[2022-10-02 10:54:18.383]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kambarata_I
[2022-10-02 10:54:22.458]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kambarata_II
[2022-10-02 10:54:26.606]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5677_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:54:26.944]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KAMBARATA_2
[2022-10-02 10:54:30.699]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kayrakkum
[2022-10-02 10:54:34.903]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch106_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:54:35.256]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KAIRAKKUM
[2022-10-02 10:54:39.022]INFO: WEAP hydropower reservoir: Shardara
[2022-10-02 10:54:43.234]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch108_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:54:43.742]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: SHARDARINSKYA
[2022-10-02 10:54:47.568]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kurpsaiskaja
[2022-10-02 10:54:51.790]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1364_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:54:52.124]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KURPSAI
[2022-10-02 10:54:55.839]INFO: WEAP hydropower reservoir: Taschkumyrskaja
[2022-10-02 10:55:07.334]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1366_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:55:07.669]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TASH_KUMYR
[2022-10-02 10:55:11.394]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: SHAMALDYSAI
[2022-10-02 10:55:14.423]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: UCH_KURGANSK
[2022-10-02 10:55:17.478]INFO: WEAP hydropower reservoir: Farkhad
[2022-10-02 10:55:21.633]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1371_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:55:21.930]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: FARKHAD
[2022-10-02 10:55:25.803]INFO: WEAP hydropower reservoir: Akhangaran
[2022-10-02 10:55:30.058]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch637_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:55:30.423]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AKHANGARAN
[2022-10-02 10:55:35.455]INFO: WEAP hydropower reservoir: Charvak
[2022-10-02 10:55:47.296]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch103_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:55:47.606]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHARVAK
[2022-10-02 10:55:51.497]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: GAZLKENT
[2022-10-02 10:55:54.506]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: KHODZHIKENT
[2022-10-02 10:55:57.592]INFO: WEAP hydropower reservoir: Chirchik
[2022-10-02 10:56:12.621]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch1369_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:56:12.958]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AKKAVAK_1
[2022-10-02 10:56:16.564]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_1
[2022-10-02 10:56:19.575]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: CHIRCHIK_2
[2022-10-02 10:56:22.501]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: TAVAK
[2022-10-02 10:56:25.459]INFO: WEAP hydropower reservoir: Andijan
[2022-10-02 10:56:33.228]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch226_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:56:33.560]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_1
[2022-10-02 10:56:37.380]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: ANDIJAN_2
[2022-10-02 10:56:40.348]INFO: WEAP hydropower reservoir: At-Bashi
[2022-10-02 10:56:44.414]INFO: Saving as Excel with filename
"hydro_availability_wbranch5675_lscenario2.xlsx"
[2022-10-02 10:56:44.710]INFO: Assigning to LEAP hydropower plant: AT_BASHIN
[2022-10-02 10:56:48.526]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kokomeren
[2022-10-02 10:56:52.581]INFO: WEAP hydropower reservoir: Upper Naryn
[2022-10-02 10:56:56.639]INFO: WEAP hydropower reservoir: Kazarman
[2022-10-02 10:57:00.698]INFO:Moving water pumping information from WEAP to LEAP
[2022-10-02 10:57:00.698]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical (LEAP)
[2022-10-02 10:57:01.742]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 10:57:02.749]INFO: Region: Kyrgyzstan
[2022-10-02 10:57:03.618]INFO: Region: Tajikistan
[2022-10-02 10:57:04.771]INFO: Region: Uzbekistan
[2022-10-02 10:57:04.855]INFO:Moving industrial water requirements from WEAP to LEAP
[2022-10-02 10:57:04.860]INFO: Scenario: S1 Historical (WEAP)/S1 Baseline Historical (LEAP)
[2022-10-02 10:57:05.880]INFO: Region: Kazakhstan
[2022-10-02 10:57:06.920]INFO: Region: Kyrgyzstan

```

```
[2022-10-02 10:57:07.775]INFO:                                         Region: Tajikistan
[2022-10-02 10:57:08.833]INFO:                                         Region: Uzbekistan
[2022-10-02 10:57:09.012]INFO:Calculating LEAP area (iteration 4)
[2022-10-02 11:11:22.840]INFO:Saving LEAP and WEAP areas
[2022-10-02 11:11:44.599]INFO:Saving versions for iteration 4
[2022-10-02 11:12:17.429]INFO:Checking LEAP results...
[2022-10-02 11:12:40.724]INFO:Checking Macro results...
[2022-10-02 11:12:41.482]INFO:Checking WEAP results...
[2022-10-02 11:12:41.834]INFO:Checking whether calculations converged...
[2022-10-02 11:12:41.846]INFO:All target WEAP and LEAP results converged to within the specified
tolerance (10.0%). No additional iterations of WEAP and LEAP calculations are needed.
[2022-10-02 11:12:41.867]INFO:Completed WEAP-LEAP integration procedure
[2022-10-02 11:12:41.895]INFO:Total elapsed time: 02:28:02
```