

FCG Финская Консалтинговая  
Группа Ltd.  
Совместно с  
• Будущее воды  
• Финский метеорологический  
• Институт

Азиатский Банк Развития

# Финальный отчет Часть 1 Резюме & Изменение климата



## Водные ресурсы и Адаптации Интервенции в Центральной и Западной Азии

ТА 7532

**Июнь 2012**

## Содержание

<b>РЕЗЮМЕ</b>	4
<b>1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА</b>	11
1.1. Общий	11
1.2. Обработка данных о климате	12
1.3. Базовый климат	12
1.4. Сценарии климата	17
1.5. Мелкомасштабный of сценарий климата	20
1.6. Результаты моделирования по изменению климата	21
1.7. Резюме по моделированию изменения климата	24
1.8. Ссылки	25
<b>2. ГОРНАЯ СРЕДА</b>	26
2.1. География	26
2.2. Признаки таяния ледников	26
2.3. Стихийные бедствия усугубленные изменением климата	28
2.4. Ссылки	31

## СПИСОК ФИГУР

Фигура 1-1. МГЭИК 4 Отчет по оценке результатов для Азии (Christensen et al. 2007). .....	11
Фигура 1-2. Среднегодовые осадки в период 2001-2010 гг (мм / год), основанные на PERSIANN ( <a href="http://chrs.web.uci.edu/">http://chrs.web.uci.edu/</a> ) и TRMM (2006, 2007) данных. ..	14
Фигура 1-3. Данные о высотах (метров над уровнем моря). Серые контуры указывают границы страны.....	14
Фигура 1-4. Июль, январь и среднегодовая (2001-2010) температура (° C) на основе измерений, проведенных на станции наблюдений и интерполированное по сетке до 0,2 ° * 0,2 °, используя метод интерполяции Кригинга. ....	15
Фигура 1-5. Корреляция между наблюдаемой и предсказанной среднесуточной температурой. Каждая точка - соотношение нынешнего одного дня, рассчитана для всех доступных станций наблюдения .....	16
Фигура 1-6. 95% процентное распределение и средняя дисперсия интерполированной среднесуточной температуры (° C).....	17
Фигура 1-7. а) выбросы CO <sub>2</sub> и б) совокупная концентрация CO <sub>2</sub> в атмосфере SRES, сценарии A2, A1B и B1 (Nakicenovic et al. 2000). .....	19
Фигура 1-8. Глобальные выбросы GHG (в Гт CO <sub>2</sub> -экв) при отсутствии стратегии в области климата (слева): иллюстрации шести SRES сценариев (цветные линии) и 80 процентного диапазона сценариев опубликованных начиная с SRES (и после SRES ) (серое поле). (МГЭИК 2007).....	19
Фигура 1-9. Средние изменения температуры (° C) и выпадения осадков (%) годовых (А), январских (В) и июльских (С) осуществленных путем моделирования (период моделирования: 1971-2000) и моделирования будущего (пять периодов моделирования: 2045 -2065). Результаты основанные на проведенных опытах с использованием пяти моделей даны в Таблице 1.....	22
Фигура 1-10. Средние значения в 2041-2050 ежегодных (А), январских (В) и июльских (С) температур (° C) и осадков (мм). Значения являются	

средними из пяти климатических моделей (табл. 1), используемых в проекте.....	23
Фигура 1-11. Важнейший вопрос при моделировании по предсказанию судьбы горных ледников в верховьях водосборных бассейнов. За последние столетия, языки почти всех долинных ледников в Центральной Азии отступили (NE Таджикистан, Курумды регион, Google Earth).....	24
Фигура 2-1. Отступление ледников в восточном Тянь-Шане, Кыргызстан, показывает ускорение тенденции, особенно после 1940г (Kutuzov & Shahgedanova, 2009). .....	27
Фигура 2-2. Геоморфологические данные показываютна наличие краевых морен, которые свидетельствуют о более крупных размерах ледника, которые отступили в основном в течение последних 150 лет (КАЗ / КГЗ граница, г. Алматы; Google Earth).....	28
Фигура 2-3. Приледниковое озеро Петров в Кыргызстане сформировалось в результате таяния ледника. Бывшие 150 лет Старые краевые морены за предыдущие 150 лет перекрыли озеро (Google Earth).....	29
Фигура 2-4. Высокое пространственное положение климатических снегов (в среднем $T = 0^{\circ}C$ ) и его рост в результате изменения климата в районе исследования.....	30
Фигура 2-5. Рост вечной мерзлоты в высокогорье обнажат новые области для эрозии. Поэтому, оползни и сели стали обычным явлением в верхних частях горных хребтов (Северный Пакистан; Google Earth).....	30

## СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1-1. Глобальная климатическая модель, использованная в проекте. ....	18
--	----

## АББРЕВИАТУРА И СОКРАЩЕНИЯ

АБР	Азиатский банк развития
БАМ	Бассейн Аральского моря
УКТОР	Усовершенствованный космический термозмиссионный и отражающий радиометр (Terra спутника)
ИСЦАУЗР	Инициатива стран Центральной Азии по управлению земельными ресурсами
ЦАС	Страны Центральной Азии
ЦАР	Республики Центральной Азии
ЦАРИБВ	Центрально-Азиатская Региональная Информационная База Водного Проекта
ОКИ	Отдел климатических исследований (Университет Восточной Англии, обладатель базы данных по климату)
ОВОС	Оценка воздействия на окружающую среду
ФКГ	Финская Консалтинговая группа
ФМИ	Финский метеорологический институт
ГАМ	Генеральная аддитивная модели
ГЭФ	Глобальный экологический фонд
ГИС	Географическая информационная система
ГОЛК	Глобальная оценка ледяных полей из космоса
GPS	Географическая системы позиционирования (спутниковая)
ГВП	Глобальное водное партнерство
МЦИСЗР	Международный центр исследований сельскохозяйственных засушливых районов
МКУР	Межгосударственная комиссия по устойчивому развитию (МФСА)

МКБК	Межгосударственная комиссия по координации водоснабжения (МФСА)
МФА	Международный фонд для Аральского моря
МФУ	Международные финансовые учреждения
МГЭИК	Международная группа экспертов по изменению климата
ИУВР	Интегрированное управление водными ресурсами
MODIS	Спектрорадиометр с изображением среднего разрешения (Aqua/Terra спутник)
МО	Мониторинг и оценка
НПО	Неправительственные организации
ОК	Оценка качества
СУК	Система управления качеством
НИЦ	Научно-информационный центр МФСА
УУЗР	Устойчивое управление земельными ресурсами информационной системы (программный компонент ИСЦАУЗР)
TL	Руководитель группы
RMM	Миссия измерения количества тропических осадков (Многоспутниковый анализ осадков)
ЮНЕП	Программа ООН по окружающей среде
ВБ	Всемирный Банк
ОПВР	Оценка и планирование водных ресурсов (моделирование системы, разработанной Стокгольмским институтом по окружающей среде)
ВМО	Всемирная метеорологическая организация

## РЕЗЮМЕ

### Общая информация о проекте

Центральная Азия является одним из регионов в наибольшей степени страдающей от последствий изменения климата на природу и экономику. Заключительный отчет по проекту АБР / ТА 7532: «Вода и адаптация интервенции в Центральной и Западной Азии» описывает исследование, в котором разработаны модели по воздействию изменения климата на водные ресурсы и стихийные бедствия в бассейне Аральского моря.

Климат прошлого был восстановлен с использованием данных из глобальной базы данных климата, составлен с использованием полевых данных и спутниковых наблюдений. Несколько международных прогнозов изменения климата были использованы для моделирования изменений температуры, осадков, ледников, снежного покрова и речных сбросов в будущем до 2050 года. Моделирование будущей гидрологии рек помогает планировать управление водными ресурсами при рассмотрении сельского хозяйства, гидроэнергетики, окружающей среды и городских коммунальных услуг.

Управление водными ресурсами в регионе Центральной Азии сталкивается с большими проблемами. Гидрологические режимы двух основных рек региона, Сыр-Дарья и Аму-Дарья, являются сложными и уязвимыми к изменению климата. Использование водозаборов сельскохозяйственных, промышленных и бытовых потребителей сократилось, потоки в районы ниже по течению уменьшились, результатом явился тяжелый экологический ущерб. Административно-институциональная система управления фрагментирована контролем шестью независимыми странами, часто с противоречащими целями.

Формирование стока на обеих реках - Сыр-Дарья и Аму-Дарья - идёт в основном за счет таяния снегов и ледников. Влияние потепления климата на эти ключевые гидрологические процессы не достаточно понятны и поэтому проводятся лишь фрагментарное смягчение и адаптация. В то время как изменения уровней осадков трудно предсказать в будущем, есть твердое мнение, что средняя глобальная температура повышается. В результате, больше осадков будет выпадать в виде дождей в верховьях и объем льда в горах Тянь-Шаня и Памира, скорее всего, сократятся. Первый из названных повлияет на сезонность стока, в то время как, последний, по крайней мере, временно увеличит среднегодовой сток. Кроме того, изменение в осадках может создать дополнительные проблемы. Последствия еще не были стратегически достаточно определены количественно, и стратегии адаптации и смягчения не имели места.

Конечной целью проекта является содействие странам Центральной Азии в подготовке национальных стратегий, политики и инвестиционных планов по устойчивости к изменению климата и адаптации. Неблагоприятное развитие событий в этом геополитическом важном и хрупком регионе, требуют срочного внимания международного сообщества. Междисциплинарные исследования могут оказать серьезную помощь в принятии решения в регионе для лучшего управления риском и решении

смягчения и адаптации стратегий к негативным последствиям изменения климата.

### **Деятельность по проекту**

В проекте, прошлый климат был реконструирован с использованием данных из глобальной базы данных климата, составленный с использованием полевых и спутниковых наблюдений. Есть несколько международных программ, генерирующие спутниковые климатические данные по миру, и эти данные могут быть загружены из Интернета. Несколько международных университетов и научно-исследовательских организаций собрали комплекс сценариев изменения климата и прогнозирования климата в будущем. Пять различных сценариев были использованы для моделирования изменений температуры, осадков, ледников и снежного покрова в будущем до 2050 года. Результаты будут применяться в развитии устойчивости к изменению климата и стратегии управления рисками на региональном, национальном и бассейново-речном уровнях. В деятельность проекта входит:

- 1) Сбор существующих полевых записей и новые спутниковые данные по климату, гидрологии и землепользования в целях восстановления прошлой и настоящей обстановки;
- 2) разработка методологий, относящихся к разукрупнению сценариев изменения климата, гидрологического моделирования, таяние ледников, оценка воздействия на климат, уязвимость климата и анализ рисков;
- 3) Моделирование будущего гидрологии рек и выявление проблем управления водой учитывая сельское хозяйство, гидроэнергетику, окружающую среду и муниципальные службы по водоснабжению;
- 4) Прогноз формирования опасностей, вызванных изменением климата таких, как наводнения, засухи, сели, оползни и обвалы;
- 5) Представление предложений по адаптации интервенции и повышению потенциала в целях повышения устойчивости к изменению климата в различных регионах;
- 6) Развитие потенциала в области использования и применения гидроклиматических моделей в регионе.

Настоящий отчет представляет собой двустороннее моделированное исследование по оценке воздействия изменения климата ради будущего наличия воды в речных бассейнах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Часть I описывает реконструированные последствия изменения климата в бассейне и Часть II фокусируется на воздействии изменения климата для дальнейшего формирования стока в горных верхних частях бассейнов. Прогнозируемые поступления из вышестоящей части бассейна, в районы, расположенные вниз по течению служит входом для модели распределения воды, разработанные в оценке водных ресурсов и системы планирования (ОПВР) для моделирования потребности в воде и ресурсов в низовьях области (Часть III). Воздействие будущего изменения температуры и выпадения осадков для наличия и потребностей воды были смоделированы и рассмотрены с возможными мерами адаптации.

### **Прогнозы изменения климата**

Климатические данные, которые должны применяться в гидрологическом моделировании включали средне-ежедневные, максимальные и минимальные температуры и ежедневные данные об осадках по сетке размером  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$ , покрывающей страны Центральной Азии. С одной стороны, гидрологическое моделирование требовало данные по климату на сегодняшний день - для калибровки модели-проекции будущего климата - для моделирования в будущем. Данные, нанесённые на сетку и представляющие современное средне-ежедневные, максимальные и минимальные температуры, были произведены путём наземных наблюдений за температурой (2001-2010 гг.) и криджинга (разбиение пространства на блоки фиксированного размера и расчёт исследуемого параметра в каждом блоке по выбранной модели вариограммы - прим.переводчика) интерполяции. Современные ежедневные данные по осадкам были основаны на PERSIANN спутниковых данных, за исключением 2006-2007 годов, которые были основаны на TRMM спутниковых по осадкам. Прогнозы будущего климата на 2011-2050 были обработаны с помощью моделирования пяти различных моделей глобального климата проекта IPCC's CMIP3 (IPCC International Panel for Climate Change). Глобальные имитационные модели для будущего были уменьшены в размере до плотной сетки, используя сетку современных климатических данных и методом изменения дельты.

Моделирование на базе глобальных климатических моделей предполагает, что среднегодовая температура будет расти в Центрально-Азиатском регионе примерно на три градуса в течение ближайших 40 лет. Сильнейшее потепление прогнозируется в горах, и в северной части Центральной Азии. На ежегодной основе изменения осадков, по прогнозам, будет небольшим в течение ближайших 40 лет. Существует вариация от модели к модели, однако, большинство климатических моделей предполагают, что уже в сухой юго-западной части Центральной Азии станет еще суше особенно в летний период, и что в некоторых местах в горах количество осадков может увеличиться.

### **Окружающая среда в горах**

Ледники занимают  $18128 \text{ км}^2$ , от бассейна Аральского моря. Они играют важную роль в гидрологии, так как генерируют талую воду в течение засушливых летних месяцев. Горные ледники включают в себя: 1) Меленький цирк ледников, покоящихся на довольно крутых горных склонах; 2) Большие ледяные шапки покрывающие горные вершины, связанные с долинными ледниками, узкие и длинные языки льда, стекающие в П-образные долины.

Процент площади оледенения двух водосборных бассейнов существенно отличается. Ледники Аму-Дарьи охватывает  $15500 \text{ км}^2$  (2% от площади) и  $1,800 \text{ км}^2$  - Сыр-Дарьи (0,15% от площади). Самые большие ледники находятся в горах Памира в Таджикистане.

Ледники в горах Тянь-Шаня и Памира отступают, а масштабы отступления меняются между регионами и временными периодами. Крупнейшая величина отступления была зарегистрирована в Северном Тянь-Шане, где площади оледенения сократилась на 30-40% в течение второй половины 20-го века. Темпы отступления ледников были медленнее в удалении на

восток и юг, тем не менее, ускорение отступления ледника было отмечено в восточном Памире с 7,8% по сравнению с 1978-1990гг. до 11,6% по сравнению с 1990-2001гг. периодом. Ледники потеряли 12,6% (0,33% / год) их в 1965г. области в период 1965-2003 гг. Одна из целей проекта явилось прогнозирование таяния ледников в будущем с использованием моделирования воздействия изменения климата на горные гидрологии.

Новые приледниковые озера будут созданы, когда, может быть, ледяное ядро модели создаст запруды перед быстро отступающими долинными ледниками. Такие озера могут иметь большой объем воды и, когда рухнет дамба, может произойти катастрофическое наводнение. Необходима защита от возможных наводнений в зонах, находящихся в уязвимом положении.

Снеговая линия поднимется в среднем на 200 - 300 метров до 2050 года. Склоны холмов, которые всегда были покрыты снегом, будут подвергаться эрозии. Таяние вечной мерзлоты в высоких горах сделают склоны неустойчивыми, и это будет генерировать оползни и сели. Такие бедствия могут быть опасны для поселений и инфраструктуры вниз по течению. Результаты моделирования не указывают на увеличение возникновения весенних наводнений в будущем, но в связи с ростом селей, последствия наводнения вероятнее всего могут быть более катастрофическими, чем раньше.

### **Гидрология районов вверх по течению**

Были разработаны растровые основы высоко детализированных криосферно-гидрологических моделей для вышестоящих частей Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Вверх по течению гидрология и роль снега и льда имеют решающее значение для понимания воздействия на районы нижнего течения. Воздействия изменения климата на гидрологию верхнего течения моделируется с высокой детализацией, включая динамические изменения в ледниках и снежном покрове. Вклад от таяния ледников, таяния снега, дождевых осадков и базового стока в целом всего объема стока определяется моделью. Эта модель была откалибрована для истории отчетного периода (2001-2010), с использованием истории климатических данных и наблюдений притока в водохранилище. Калиброванная модель была впоследствии форсирована в уменьшенном масштабе с будущими температурными и осадковыми сценариями для сценария A1B, основанного на пяти различных Моделях Глобальной Циркуляции (МОЦ) за 2011-2050гг.

Результаты гидрологического моделирования районов вверх по течению включают следующее:

- Разработанная модель, способная имитировать полученный путём наблюдений сток и может быть использована для изучения влияния изменений климата на гидрологический цикл.
- Есть большие отличия в роли стока талой воды для создания речных бассейнов Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Талая вода имеет более высокий вклад в формирование стока бассейна реки Аму-Дарьи по сравнению с бассейном реки Сыр-Дарьи.

- Очень вероятно, что объём ледника на Памире и Тянь-Шане на горных хребтах снизится с 45 до 60% к 2050 году.
- Состав четырех компонентов формирования стока (количества выпавших осадков, таяния снега, таяния ледников, базового потока), в будущем скорее всего, изменится. Это серьёзно повлияет на сток в целом, но особенно на сток от сезонных изменений. Пик стока сместится с лета на весну и уменьшится в размерах. Модельный продукт, когда форсирован с климатическими прогнозами, произведёнными пятью моделями глобальной циркуляции (МОЦ) показывает уменьшение формирования стока в верхней части двух бассейнов до 2050 года. Изменения сильно отличаются в пространстве. Формирование стока снижается наиболее значительно в верховьях отступления ледника.
- Общий объем годового стока в районы вниз по течению, как ожидается, сократится на 22-28% по Сырдарье и 26-35% по Аму-Дарье к 2050 году.
- Сильнейшее уменьшение речного стока ожидается для поздних летних месяцев (август, сентябрь, октябрь), где приток в районы вниз по течению уменьшается примерно на 45% для обоих бассейнов рек.

### **Управление водными ресурсами вниз по течению**

Инструмент оценки ОПВР (WEAP) и планирование водных ресурсов (моделирование системы, разработанной Стокгольмским институтом по окружающей среде) был использован в качестве комплексной основы для баланса спроса и предложения и моделирования сценариев адаптации в речных бассейнах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Нехватка и воздействие воды были оценены на уровне бассейна для текущей и будущей ситуаций. Эта модель связана создана для исторического эталонного периода (2001-2010), использующая моделируемый приток с верхних частей бассейна, исторические данные, касающиеся климата, сельскохозяйственного землепользования, населения. и структуры управления водными ресурсами в подобных водохранилищах и каналах. Модель калибруется с помощью наблюдаемых притоков водохранилища, оттока и объема, и впадению в Аральское море. Впоследствии, калиброванная модель форсирована с уменьшенными в масштабе сценариями будущих температур, и осадков для сценария A1B, основанный на пяти различных моделях глобальной циркуляции (МОЦ) в 2011-2050гг. и соответствующие притоки, образованные моделью для районов вверх по течению.

Основными идеями результатов исследования моделирования вниз по течению являются:

- Разработанные модели могут имитировать в наблюдаемых потоках уровень водопользования и могут быть использованы для изучения влияния изменения климата на водные ресурсы в регионе.
- Существуют большие различия в роли талой воды для формирования стока в речных бассейнах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Талая вода имеет более высокий вклад в сток в бассейне Амударьи по сравнению с бассейном реки Сырдарья.
- Ежегодный общий спрос на воду в бассейне Сырдарьи увеличивается на 3,0 - 3,9% в 2050 году. Ежегодный неудовлетворенный спрос увеличивается с 8,8% в настоящее время до 31,6 - 39,7% в 2050 году.

- Ежегодная общая потребность на воду в бассейне Аму-Дарьи увеличивается на 3,8 - 5,0% к 2050 году. Ежегодная неудовлетворённая потребность увеличивается с 24,8% с настоящего времени до 45,8 - 54,5% к 2050 году.
- Общая протяженность Аральского моря сократится приблизительно с 17000 км<sup>2</sup> в настоящее время до 13800 км<sup>2</sup> к 2050 году. Различия между Северной частью и Южной частью озера поражают. Северная часть имеет потенциал, чтобы расшириться примерно на 72% в условиях прогнозируемого притока (но будет меньше притока воды в Южной части озера), в то время как Южная часть озера сократится примерно на 38%.

## Стратегии адаптации

Для преодоления нынешней и будущей нехватки воды в странах есть целый ряд вариантов в их распоряжении, чтобы реагировать и адаптироваться. Эти параметры могут быть сведены в три основные категории: (i) расширение поставок, (II), повышение производительности труда, и (III) сокращение спроса. Для каждой из этих трех категорий типичные варианты были изучены, результаты даны в следующих рамках:

Цель	Технология
Расширение водоснабжения	A: Повышение потенциала водохранилища
Повышение производительности:	B: Улучшение сельскохозяйственной практики
	C: Повышение повторного использования воды в орошаемом земледелии
	D: Повышение повторного использования воды для бытовых нужд
Сокращение спроса:	E: Сокращение орошаемых площадей
	F: Сокращение внутреннего спроса
	G: Дефицит орошения

Каждый из этих вариантов связан с определенными предельными затратами на единицу, начиная с US \$ 0,02 за м<sup>3</sup> для улучшения методов ведения сельского хозяйства до \$ 2,00 за м<sup>3</sup> в случае сокращения поставок внутреннего спроса. Понятно, в случае выбора первого варианта, самого дешевого, но в то же время он не может быть достаточным для преодоления нехватки воды полностью, а более дорогие варианты должны стать мостом для преодоления нехватки воды. При ранжировании вариантов адаптации к их затратам на единицу конкретной страны построены водные кривые предельных затрат. Использование кривой стоимости наличия воды ограничивается сравнением финансовой стоимости мер для покрытия этой нехватки. Важно отметить, что это может отличаться от экономических издержек для общества в целом. Кривая затрат поэтому должна рассматриваться как мера руководства для сравнения финансовых затрат для принятия решений.

Большинство экономически эффективных адаптационных мер проверяются в сельскохозяйственной практике, дефиците орошения, увеличению повторного использования воды в сельском хозяйстве и сокращению орошаемых площадей. Кроме того, меры, применяемые в сельском

хозяйстве являются гораздо более эффективными с точки зрения сокращения неудовлетворенного спроса, потому что внутреннее потребление воды в бассейнах является незначительной по сравнению с использованием воды для сельского хозяйства. Применение самой затратной адаптационной меры закрывает недостаток воды и стоимость составит 1,730 млн.долл. США в год к 2050 году. Покрытие недостатка воды, вызванных только изменением климата будет стоить 550 млн. долл. США в год к 2050 году.

- Большинство экономически эффективных мер адаптации (I), улучшение сельскохозяйственной практики, (II) дефицит орошения, (III) увеличение повторного использования воды в сельском хозяйстве, и (IV), сокращение орошаемых площадей.

- Затраты на покрытие всего недостатка воды (43000 млн.м<sup>3</sup>) оцениваются в US \$ 1730 млн. в год в 2050 году.

- Покрытие дополнительной нехватки воды, вызванной только изменением климата (25.000 млн. м<sup>3</sup>) будет стоить 550 млн. долл. США в год к 2050 году.

Продолжающееся строительство новых плотин в Кыргызстане и Таджикистане добавляет напряженность в сложившейся ситуации. Советская эра, соответствующая плану гидроэнергетических проектов Камбарата I и II в Кыргызстане, и Рогунской плотины в Таджикистане находятся снова в разработке, в связи с расширением доступа к деньгам международных доноров - России и Китая, инвестирующих в эти проекты. В странах низовья эти события усилили беспокойство, потому что это может означать, что страны находящиеся вверх по течению могут не связывать себя обязательствами и необходимостью поставки энергоносителей в зимний период из Казахстана, Узбекистана и Туркменистана. Страны вверх по течению могут не следовать соблюдению правил работы летнего режима с серьезными последствиями для орошаемого земледелия и экономики в целом для стран, лежащих вниз по течению. С этой точки зрения, нет ничего удивительного в том, что некоторая напряженность в отношениях между странами существует. Хотя новая инфраструктура будет эффективна при перекрытии течения рек и добавит возможности в управлении, что является жизненно важной необходимостью, преодолеть в будущем препятствия на пути региональной интеграции.

### **Наращивание потенциала**

Проект определил национальные организации и 5 - 8 экспертов из каждой страны для участия в программе наращивания потенциала, направленного на развитие навыков в гидроклиматическом моделировании. Эксперты, представляющие гидрометеорологические институты, другие ведомства или научно-исследовательские организации, ответственные за управление водными ресурсами и техническими институтами специализирующиеся на моделировании и информационных системах. Проектная команда организовала несколько семинаров по проблемам изменения климата в странах, и были приглашены эксперты из различных министерств, академических институтов и других проектов. Выступления, сделанные экспертами проекта и национальными органами власти представили информацию по

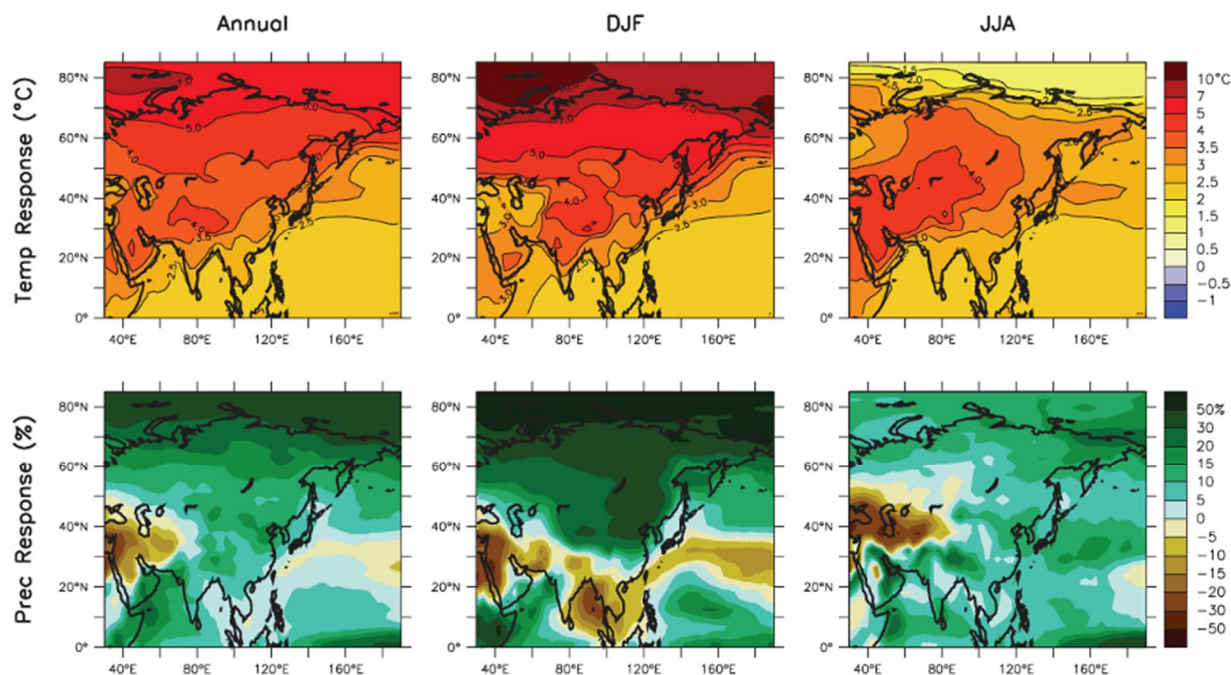
изменению климата, его влияния на управление водными ресурсами и о возможной стратегии адаптации.

Национальные эксперты, получили от проекта мощные компьютеры ноутбуки, программное обеспечение и другое оборудование, необходимое для моделирования и управления информацией. Международные эксперты вели подготовку национальных экспертов для использования климатических данных и моделирования (разукрупнение, R программирование), гидрологического моделирования (PCRaster) и моделирование распределения воды (ОПВР). Национальные эксперты будут продолжать работу проекта, например, по национальной шкале с помощью более подробными статистическими ссылками.

## 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

### 1.1. Общие положения

В 4-м докладе об оценке МПИК по Центрально-Азиатскому региону прогнозируются большие климатические изменения, (Christensen et al. 2007). Рисунок 1-1 показывает прогнозируемые изменения температуры (верхний ряд) и осадки (нижний ряд) между 1980-1999 и 2080-2099 периодами для сценария A1B МОЦ как среднее из 21 глобальных климатических моделей (ГКМ). Цифры приведены для годовых, с декабря по февраль (ДЯФ) и с июня по август периоды (ИИА). В горах Памира, повышение температуры до 4 градусов в 2100 году в сочетании с умеренным увеличением осадков являются проектными. Повышенная температура приводит к более высоким потребностям эвапотранспирации и перевешивает умеренное увеличение осадков. В Центральной Азии очевидно, где осуществляется сельскохозяйственное производство, климат будет суше и жарче.



Фигура1-1. МГЭИК 4 Отчет по оценке результатов для Азии (Christensen et al. 2007).

Как показано на Рисунке 1-1, в будущем могут произойти значительные изменения в климатических условиях. Для того, чтобы иметь возможность оценить воздействие изменений климата на гидрологические условия и рациональное использование водных ресурсов метеорологических данных не требуется. Наблюдаемые данные необходимы для оценки настоящего / климата в прошлом, и прогнозы на основе моделирования модели климата дают лучшие оценки для будущих климатических условий. В этом проекте так называемый базовый (данные наблюдений) период - это 2001-2010 годы, и на будущий период должен быть рассмотрен период 2011-2050. Гидрологические модели, применяемых в этом проекте требуют в качестве входных непрерывные временные ряды от суточной температуры и

ежедневные данные об осадках. Все данные должны быть в единой сетке, покрывающей области проекта.

## 1.2. Обработка данных по климату

Обработка и анализ больших метеорологических и гидрологических данных требуют современные аналитические средства. В этом проекте обработка наблюдений за климатом и климатические прогнозы, в основном, осуществляется с помощью языка R среды (<http://www.r-project.org/>). R является бесплатным программным обеспечением для статистических вычислений и компьютерной графики. Использование R в последнее время расширилось и стало почти стандартом для статистических вычислений и обработки данных. Он может работать на различных операционных системах, таких как платформах UNIX, Windows и MacOS. Это проект GNU (проект по свободному распространению программного обеспечения, прим. переводчика), который подобен языку и среде S, и которые были разработаны в Bell Laboratories (бывшая AT&T, в настоящее время Lucent Technologies) Джоном Чамберсом с коллегами. R обеспечивает многие виды статистических и графических методов, и обладает широкими возможностями наращивания. Например, используя R легко строить диаграммы и графики, в том числе математические обозначения и формулы. R доступен как свободное программное обеспечение в соответствии с условиями GNU Free Software Foundation, General Public License в виде исходного кода. Это означает, что нет установок или эксплуатационных расходов, связанных с R.

R спроектирован в области соответствующего компьютерного языка, и это позволяет пользователям увеличивать дополнительную функциональность, определяя новые функции. Для компьютеризированных сложных задач, коды C, C++ и Фортран коды могут быть установлены и для называемого времени обработки (прогона программы). R включает в себя полезную функцию, например, такую как: эффективная обработка данных и хранение, комплект операторов для расчетов по сетке, в частности, матриц, а также хорошо развитый, простой и эффективный язык программирования, который включает в себя условный цикл, определяемый пользователем рекурсивных функций и средства входа и выхода.

R можно рассматривать как среду, внутри которой реализованы статистические методы. R может быть легко увеличена через программные пакеты. Есть около восьми пакетов, снабженных распределением R, и более того, доступный через семейство CRAN ([Comprehensive R Archive Network](http://www.cran.r-project.org/)-Всесторонняя R Архивная Сеть) Интернет-сайтов, охватывающих очень широкий спектр современной статистики (источник: <http://www.r-project.org/>).

Обучение программированию R было одним из главных инструментов создания потенциала компоненты в данном проекте. Для слушателей были введены основы R, а также инструменты, для создания пространственной интерполяции и уменьшения масштабов худших сценариев климатических данных.

## 1.3. Основа климата

Набор базы данных, приведенной в этом проекте включает среднесуточную температуру, суточную максимальную и минимальную температуры, и ежедневные данные об осадках за 2001-2010 годы. Блок температур в градусах Цельсия, а для осадков мм/день. Площадь покрытия: от 57,12083 ° в.д. до 78,92083 ° восточной долготы и от 34,10833 ° с. ш. до 49,90833 ° северной широты. Пространственное разрешение составляет 0,2 x 0,2 градуса. Это означает, что набор данных составляет 109 столбцов x 79 строк. Координаты первой величины таковы, что значение с центром в 57,22083 ° E, 34,20833 ° N, а второе значение на 57,42083 ° E, 34,40833 ° с.ш. Последние два значения отцентрированы на 78,62083 ° E, 49,60833 ° с.ш. и 78,82083 ° E, 49,80833 ° N (например, Фигура 1-2)

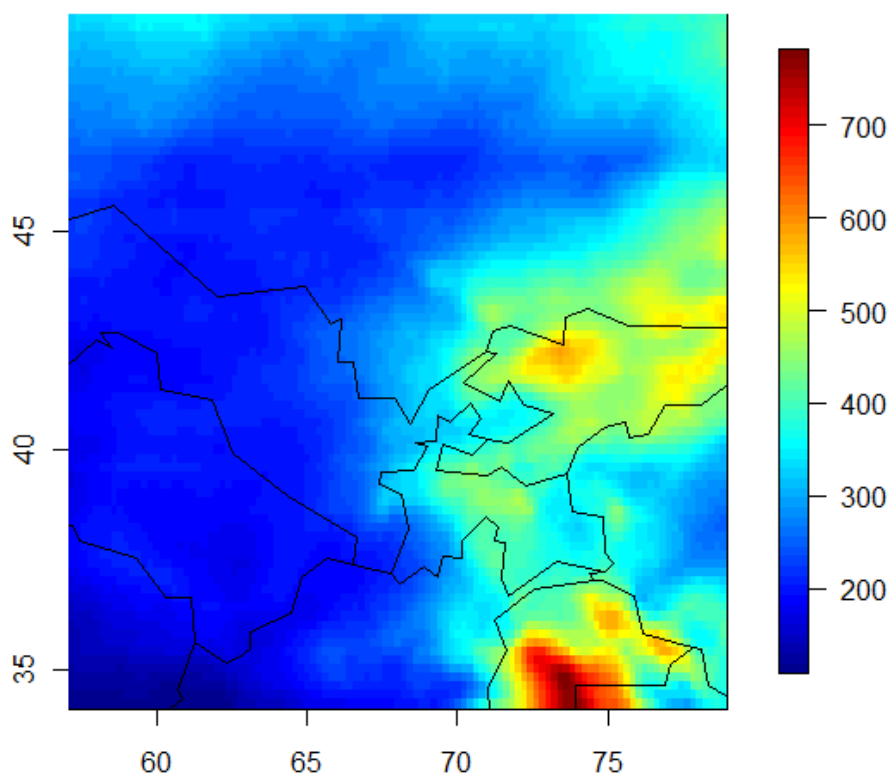
**Данные по выпадению осадков** (Фигура 1-2) были интерпретированы по би-линейной интерполяции с разрешением сетки 0,2 ° x 0,2 ° из PERSIANN 0,25 ° нейронной сети на основе данных осадков (<http://chrs.web.uci.edu/>) (Adleretal. 2003; Huffmanetal. 2009; Hsuetal. 1997; Sorooshianetal. 2000). Оценка PERSIANN осадков основана на информации текстуры облака по данным длин волн инфракрасного излучения (~ 10.2-11.2 мкм). Эти данные получены из геостационарных спутников и обновляются с помощью более высококачественных оценок осадков низкоорбитальными пассивными сверхвысокочастотными датчиками (Hsuetal. 2007; Sorooshianetal. 2000). Снижение отклонений и сохранение пространственных и временных изображения с высоким разрешением, PERSIANN осадки корректируются на основе проекта по Глобальной Климатологии Осадков (ПГКО) с 2,5 ° ежемесячным разрешением (Adleretal. 2003; Huffmanetal. 2009). Отсутствие данных в оценке PERSIANN заполнены оценкой пассивных осадков сверхвысокочастотными волнами с шагом по времени каждые 30 минут. В последующем шаге, данные группируются в масштабе до 2,5 ° ежемесячно и поправочный коэффициент вычисляется на основе соотношения осадков ПГКО и осадков PERSIANN в сетке 2,5 °. Этот коэффициент используется для расчета дождевых осадков PERSIANN осадков в пространственных и временных масштабах (в час), покрывающих в течение 2,5°. Конечный продукт предоставляется пользователям в течение 3-час и с разрешением 0,25°.

Набор данных ПГКО (Adleretal. 2003) используется для настройки базы данных PERSIANN глобального ежемесячного анализа поверхностных осадков с разрешением на 2,5 ° широты и 2,5 ° долготы. Дата начала - с января 1979 года. Объединенные данные по осадкам включают в себя оценки низкоорбитальных спутниковых сверхвысокочастотных данных, данные наблюдения инфракрасного спектра спутника с геосинхронной орбиты и наземные наблюдения датчиками дождя. Высокая точность низкоорбитальных наблюдений используется в калибровке или юстировке повторяющихся геосинхронных инфракрасных наблюдений. Измерения сверхвысокочастотных волн стали доступными только с середины 1987 года, а до этого использовались только инфракрасные наблюдения. Эти наблюдения были откалиброваны с помощью сверхвысокочастотных волн на основе анализов, доступных в более поздние годы. Сгруппированный спутниковый продукт, наконец, адаптируется путем анализа дождемера. В набор данных архива включены

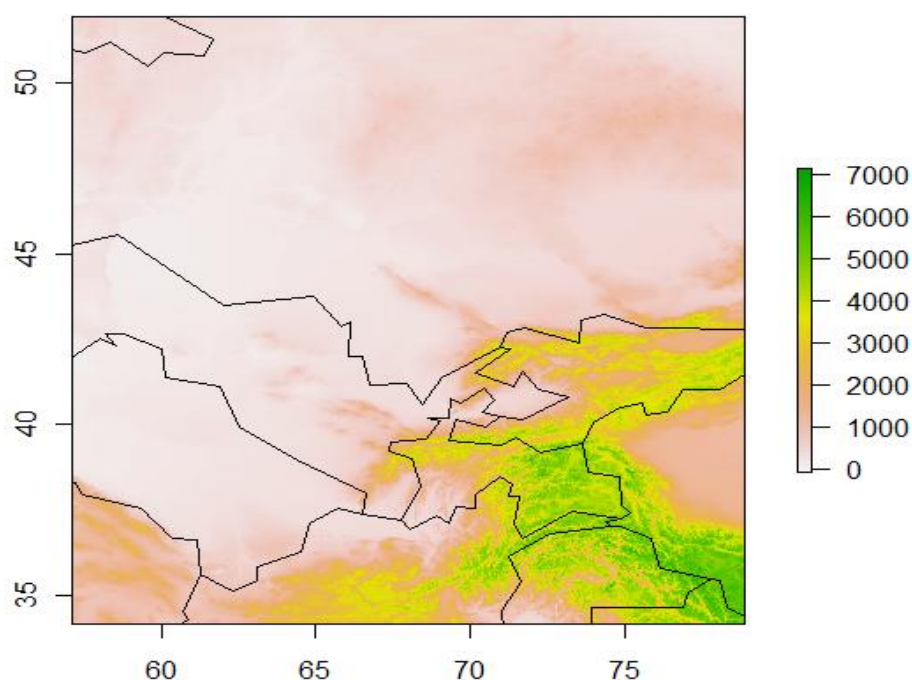
также отдельные поля ввода, комбинированная спутниковая оценка, и оценки погрешности для каждого поля.

Согласно предварительному анализу для 2006 и 2007 годов данные PERSIANN давали слишком высокие значения для некоторых представляющих интерес фер, по сравнению с наземными наблюдениями. По этой причине за эти два года был использован набор данных, полученных от миссии МИКТО (Миссия измерения количества тропических осадков) (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>). МИКТО является совместной миссией между НАСА и JAXA. Она была запущена 27 ноября 1997 года в Танегашиме (Япония) и наблюдает за количеством осадков в тропиках. МИКТО является частью миссии НАСА на планете Земля. Инструменты МИКТО включают в себя сверхвысокочастотный блок формирования изображений (TMI), радар осадков (PR), видимый и инфракрасный сканер (VIRS), облако и излучающая энергетическая система Земли (CERES) и датчик отображения грозового разряда (LIS) (см., например, Kaushik et al. 2010).

**Данные по высоте** над уровнем моря интерполяции DEM\_15s данных в разрешении  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$  (Фигура 1-3). Координаты представляют собой в равной степени, как для температурных и для данных выпадающих осадков. Эти данные необходимы для пространственной интерполяции температуры.



Фигура 1-2. Среднегодовые осадки в период 2001-2010 гг (мм / год), основанные на PERSIANN (<http://chrs.web.uci.edu/>) и TRMM (2006, 2007) данных.



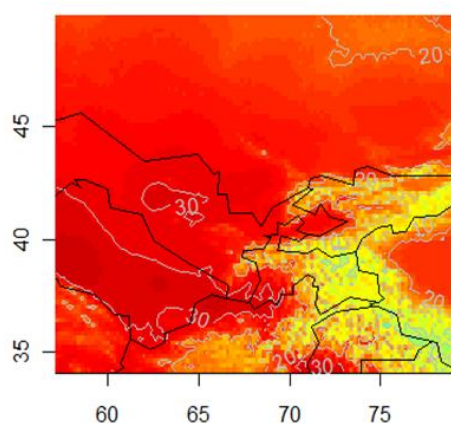
Фигурае1-3. Данные о высотах (метров над уровнем моря).  
Серые контуры указывают границы страны

**Температурные** данные включают в себя ежедневные минимальные, максимальные и средние температуры (градусы Цельсия). На сгенерированную сетку набор данных, необходимых для проекта, был получен путем интерполяции измеренных данных на метеорологических станциях в  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$ . Интерполяция была сделана с использованием пространственных методов интерполяции известных как "кригинг" (например, Ripley 1981). Теория, после интерполяции кригинга основывается на работе Д. Крига. Этот метод широко применяется также в метеорологической и климатической практике (например, Venäläinen and Heikinheimo 1997; Haylock et al. 2008). Кригинг представляет собой пространственный метод интерполяции, который дает наилучший линейный объективный показатель ненаблюдаемых величин. Этот метод также дает оценку дисперсии ошибки прогноза. Этот метод интерполяции может учитывать внешние воздействия, как свойство местности или высоты.

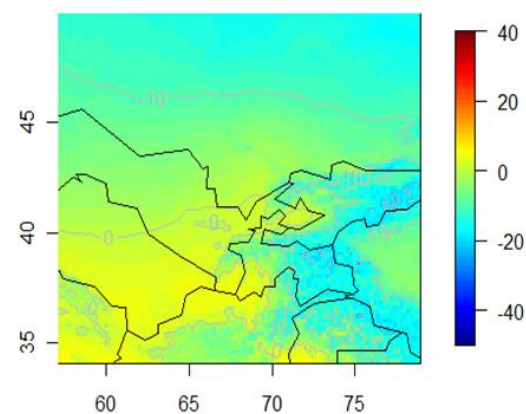
Программный инструмент, применяемый в этом проекте R окружающей среды, был создан для статистических вычислений и графики. Точнее здесь применяется R-пакет под названием "gstat". Пакет "gstat" был запрограммирован Pebesma (2004).

Температура очень сильно зависит от высоты, чем более высокое расположение обычно холоднее является температура. Вот почему, в этом проекте был использован район высоты для прогнозирования пространственного изменения температуры. В качестве примера результаты, полученные в июле, январе и среднегодовые температуры приведены на Фигуре 1-4.

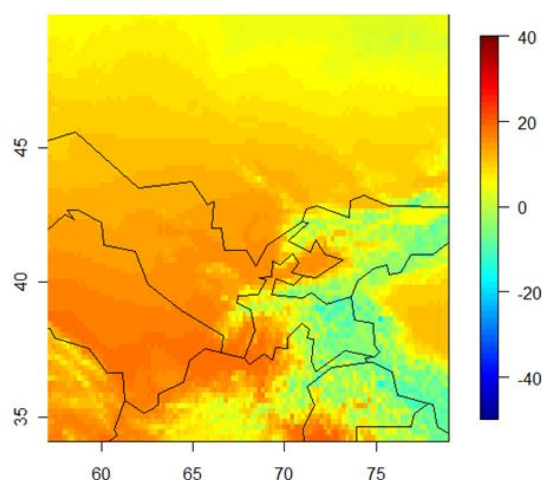
July mean temperature 2001-2010



January mean temperature 2001-2010



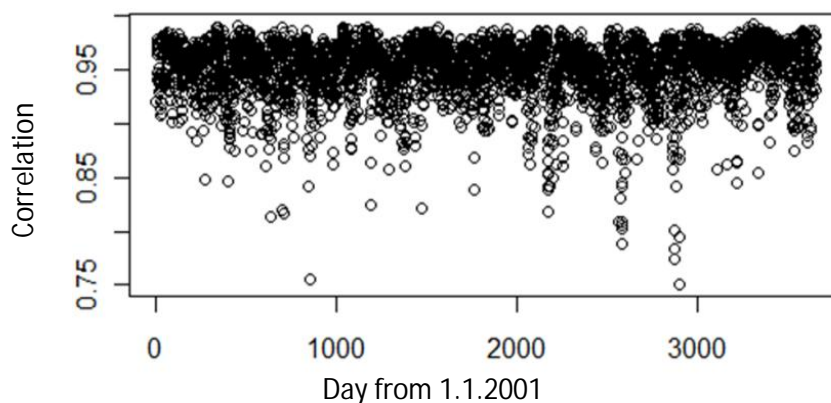
Annual mean temperature 2001-2010



**Фигура1-4. Июль, январь и среднегодовая (2001-2010) температура (° C) на основе измерений, проведенных на станции наблюдений и интерполированных по сетке до 0,2° \* 0,2°, используя метод интерполяции Кригинга.**

#### Проверка качества кригинга

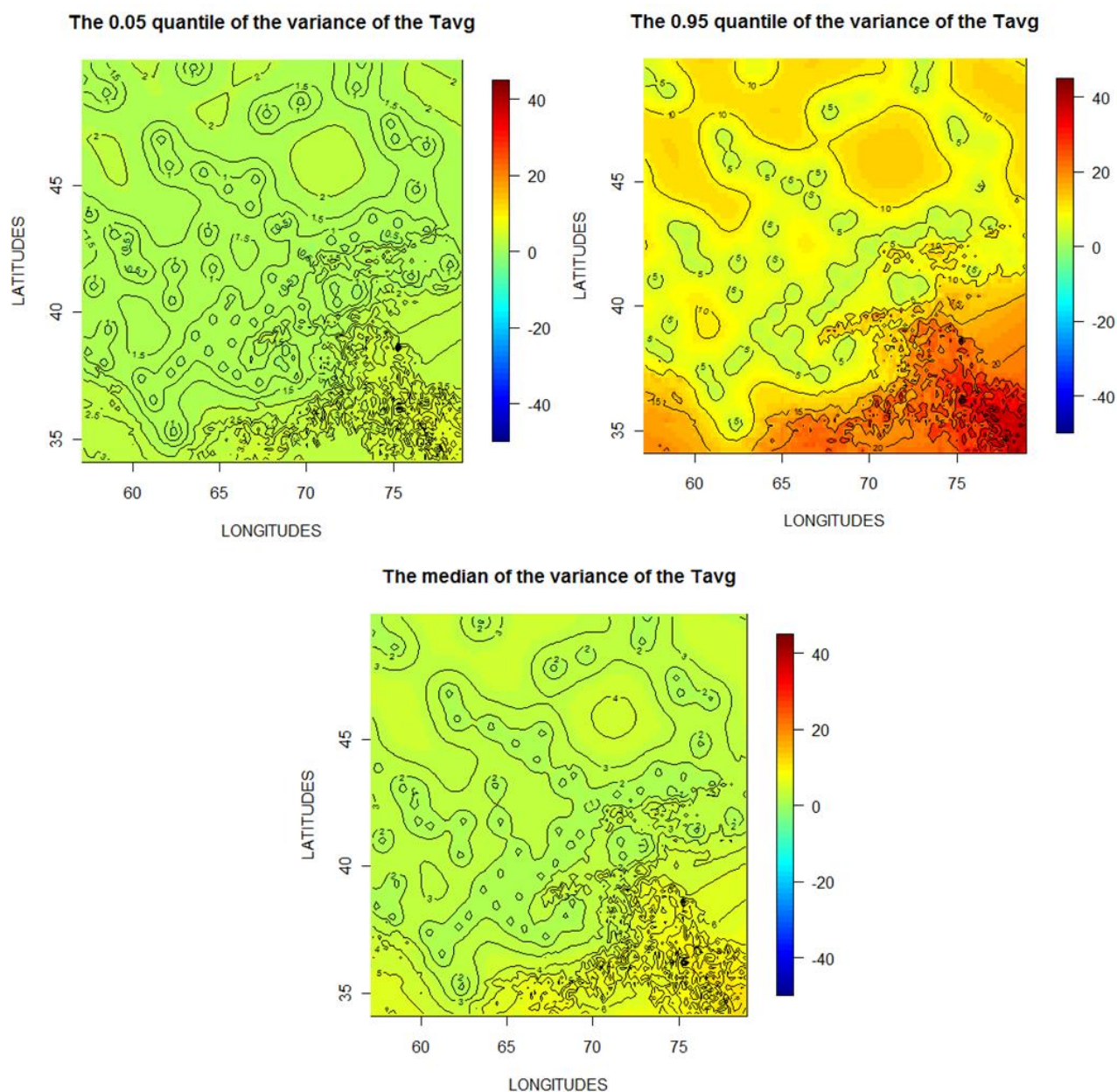
Качество интерполированной области зависит от наличия исходных данных (наблюдений), свойств местности, такие как изменение высоты и, естественно, объяснение зависимости, например, температуры от высоты. Количество станций наблюдений для интерполяции для текущего проекта было небольшим, в то время как расширенное пространство и сложность района учитывались. Чтобы получить оценку эффективности применяемого метода кригинга интерполированные данные были проверены для каждого дня путем расчета корреляции между наблюдаемыми и до ближайшего окна сетки расчетной температуры для каждой расположенной станции (Фигура 1-5). По большинству дней корреляция составила выше 0,95, что можно рассматривать как хорошую сходимость по указанным выше принятым во внимание проблемам.



**Фигура1-5. Корреляция между наблюдаемой и предсказанной среднесуточной температурой. Каждая точка - соотношение нынешнего одного дня, рассчитана для всех доступных станций наблюдения.**

Дисперсия кригинга в качестве показателя неопределенности прогнозируемых значений

Разница может быть использована также в качестве индикатора качества интерполяции. Чем меньше разница, тем лучше интерполировать поля. Среднее, максимальное и минимальное отклонения по интерполированной среднесуточной температуре можно увидеть на (Фигура 1-6). Дисперсии предсказанных значений были лучшими вблизи станций наблюдения. Дисперсии в юго-восточном углу кригинга области были иногда большими, что указывает на ошибки данных по горному району с большими перепадами высот. Тем не менее, качество интерполированных полей можно считать относительно хорошим, после того как были взяты во внимание ограничения, связанные с пригодностью данных.



Фигура1-6. 95% процентное распределение и средняя дисперсия интерполированной среднесуточной температуры (° C)

#### 1.4. Климатические сценарии

Прогнозы будущего климата на основе моделирования с использованием атмосферной модели глобального климата (МГК). Эти современные состояния всеобъемлющей МОЦ с модулями моделирования морских и сухопутных биосфер и морского льда являются инструментами для изучения прошлого, настоящего и будущего климата. Разрешение таких МОЦ является, как правило, 100-300 км (IPCC 2007). Для региональных исследований пространственное разрешение МОЦ, до сих пор является, довольно грубой, а также не все процессы в области суша-море-атмосфера могут быть полностью приняты во внимание. Пространственная, более подробная оценка, может быть получена с помощью региональных климатических моделей (РКМ) и статистические методы разукрупнения результатов МОЦ. Тем не менее, даже для РКМ происходят процессы,

которые могут только быть приблизительными, а также и статистические методы имеют свои ограничения. Неопределенность, связанная с климатическими сценариями может в какой-то степени быть принята во внимание, используя не только одну, а несколько МОЦ в качестве материала вводимого для эффекта моделей. В этом проекте мы применили результаты из пяти отдельных МОЦ.

Необходимость моделирования МОЦ были взяты с интернета из архива мульти модельного набора данных из Программы Всемирного Исследования Климата (ПВИК) Проекта Сравнения(взаимного) Климатических Моделей (ПСКМ-3). В целом было загружено 19 климатических моделей. Эти модели относятся к набору МОЦ, используемых МГЭИК при составлении глобального масштаба прогнозов, опубликованных в 4-м докладе по оценке. Более подробная информация о моделях приведена в МГЭИК (2007) Таблица 8.1. Из 19 моделей, наконец, пять моделей были выбраны для использования в данном проекте (Table 1-1).

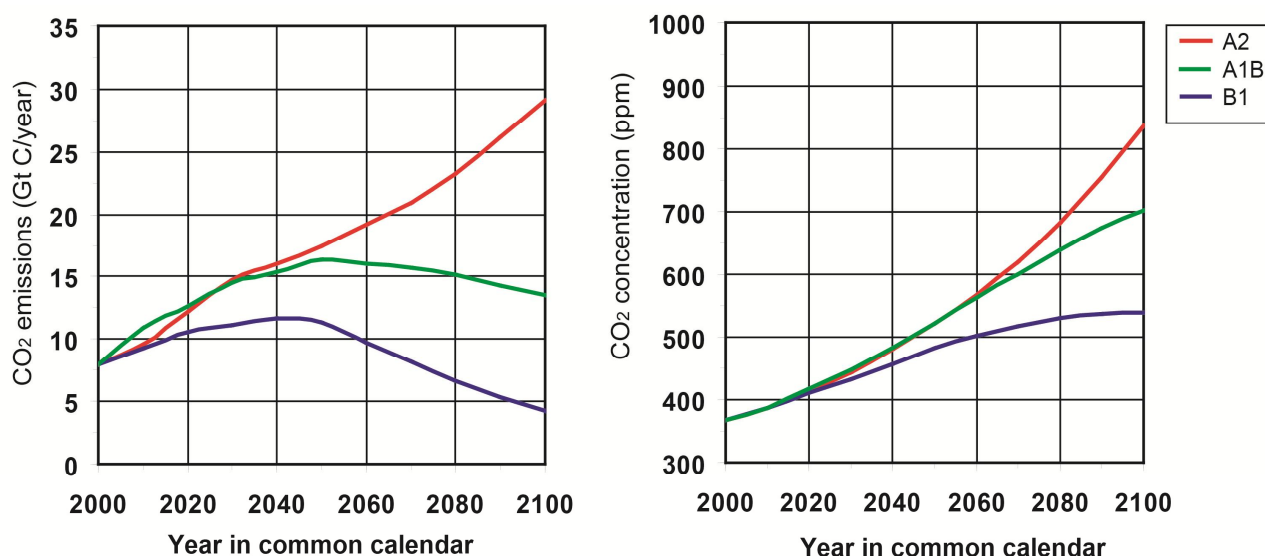
Критерии отбора этих моделей заключалась в том, что их пространственное разрешение было 1,9° или выше, а модели были рождены в разных странах. Это гарантирует, что модели являются действительно самостоятельными моделями, и этот путь получения результатов, путем использования в масштабе этих модельных изображений, охватывает прогнозы различных климатических изменений.

Model	Institute, Country	Resolution
CGCM3(T63) КЦМАК	Канадский центр моделирования и анализа по климату, Канада	1.9° x 1.9°
CNRM-CM3 НЦМИ	Météo-France, Франция	1.9° x 1.9°
ESCHAM5/MPI-OM ИМПМ	Институт Макса Планка по Метеорологии, Германия	1.5° x 1.5°
MIROC3.2(HIRES) ММИК	Центр исследования Климатических систем (Токийский университет), Япония	1.1° x 1.1°
NCAR-CCSM3 СМКС	Национальный центр по исследованию Атмосферы, США	1.4° x 1.4°

**Таблица1-1. Глобальные климатические модели, используемые в Проекте.**

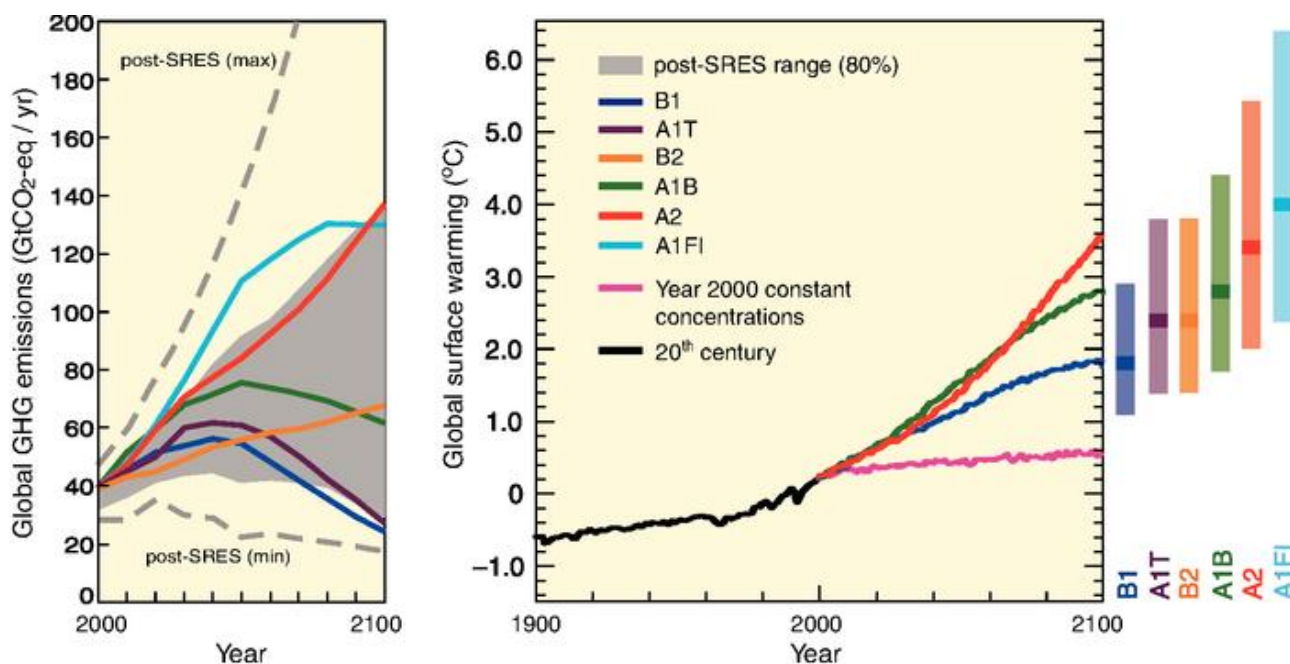
Продолжительность фазы потепления и темпы потепления будут зависеть от количества и характера антропогенных выбросов. В оценках изменения климата обычно прикладных сценариев изложены в МГЭИК докладе (Nakicenovicetal. 2000). Выбросы CO<sub>2</sub> и кумулятивные атмосферные CO<sub>2</sub>

сконцентрированные по A2, A1 и B1 сценариям показаны на **Фигуре 1-7**. При сценарии B1, мировая экономика будет направлена на устойчивое развитие и рост населения в мире будет выравниваться. При сценарии A2 потребительское общество, в котором энергия в основном производится за счет ископаемого топлива (что приводит к высоким выбросам) и население в мире будут быстро расти. Сценарий A1B лежит между A2 и B1. Оценки концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере достигнет в 2100 году диапазона сценариев B1 и A2, и достигнут из 550 частей на миллион до 850 частей на миллион, соответственно.



**Фигура 1-7. а) выбросы CO<sub>2</sub> и б) совокупная концентрация CO<sub>2</sub> в атмосфере SRES сценарии A2, A1B и B1 (Nakicenovic et al. 2000).**

Моделирование, используемое в этом проекте, основано на A1B сценарии выбросов. По сценарию выбросов A1B прогнозируется рост глобальной температуры на 2-3 ° C до конца этого столетия (Figure 1-8).



Фигура1-8. Глобальные выбросы GHG (в ГтCO<sub>2</sub>-экв) в отсутствие стратегии в области климата (слева): иллюстрации шести SRES сценариев (цветные линии) и **80+ti процентильный** диапазон сценариев опубликованный начиная с SRES (и после SRES) (серое поле). Правая фигура: Сплошные линии показывают несколько глобальных средних значений приземного потепления для сценариев A2, A1 и B1. Розовая линия изображает альтернативу, в которой атмосферные концентрации остаются неизменными на уровне 2000 года. Полосы в правой части рисунка показывают наилучшую оценку (сплошная линия в каждой полосе) и вероятный диапазон, который оценивается по шести сценариям SRES маркера 2090-2099гг. Все температуры относятся к периоду 1980-1999гг. (МГЭИК2007).

### 1.5. Разукрупнение климатических сценариев

Переход климатических сценариев из крупной решетки глобальных климатических моделей к 0,2° сетке было сделано путем применения высокого разрешения (0.2° \* 0.2°) набора данных основанных на наблюдениях. Оценка величины изменения были основаны на методе, известном как "дельта изменения" ( Arnell, 1996), где величина изменения предполагается как разница между контролем модельного климата и сценарием действующего. Шаги, предпринятые в разукрупнения были:

1. Расчет изменения средней температуры и ежедневные отклонения температуры и осадков каждого месяца, между контрольными, текущими (1971-2000) и смоделированными в будущее (2046-2065);
2. Рассчетные изменения были добавлены к наблюдаемым значениям температур и осадков в 2001-2010гг для представления сценария 2011-2050гг.

Были применены изменения абсолютной температуры (в градусах по Цельсию), а также осадки связанные с изменением (%).

Для того, чтобы учесть возможные изменения в изменении суточных температур в будущем климате, мы рассмотрели изменения ежемесячную среднюю температуру и ежедневные отклонения температуры. Суточные температуры ( $T_{ske}$ ) были рассчитаны по наблюдаемым (2001-2010) значениям температуры ( $T_{pre}$ ) по формуле,

$$T_{ske}(t) = T_{pre}(t) + \Delta\bar{T} + \left( \frac{\sigma_{T,ske}}{\sigma_{T,pre}} - 1 \right) (T_{pre}(t) - \bar{T}_{pre}), \quad (1)$$

в которой  $\Delta\bar{T}$  - прогнозируемое среднемесячное повышение температуры и рассчитывается для каждого календарного месяца.  $\sigma_{T,ske}$  и  $\sigma_{T,pre}$  — стандартные отклонения среднесуточной температуры рассчитываются за каждый календарный месяц на основе температуры, полученные из модели моделирования для базового (2001-2010) периода (*pre*)(пред) и на будущий период (*ske*).  $\bar{T}_{pre}$  - средняя месячная температура в наблюдаемых данных.

Суточные значения осадков ( $P_{ske}$ ) были рассчитаны по наблюдаемым (2001-2010) суточным значениям осадков ( $P_{pre}$ ) по формуле:

$$P_{ske}(t) = P_{pre}(t) + \Delta\bar{P} + \left( \frac{\sigma_{P,ske}}{\sigma_{P,pre}} - 1 \right) (P_{pre}(t) - \bar{P}_{pre}), \quad (2)$$

в котором  $\Delta\bar{P}$  - среднее прогнозируемое изменение ежемесячных осадков в процентах (%), рассчитывается для каждого календарного месяца, а (*t*) шаг по времени (день).

Если смоделированные месячные осадки были в климатической модели ситуации на уровне менее 1 мм/месяц,  $\Delta\bar{P}$  стремится к нулю, поскольку использование в процентном изменении привело бы к нереальным изменениям осадков (например, в случае управления моделированием моделирование ежемесячных осадков значения 0,005 мм и в моделировании будущего моделирования месячных осадков 0,5 мм, следовательно,  $\Delta\bar{P}$  был бы 9900%).

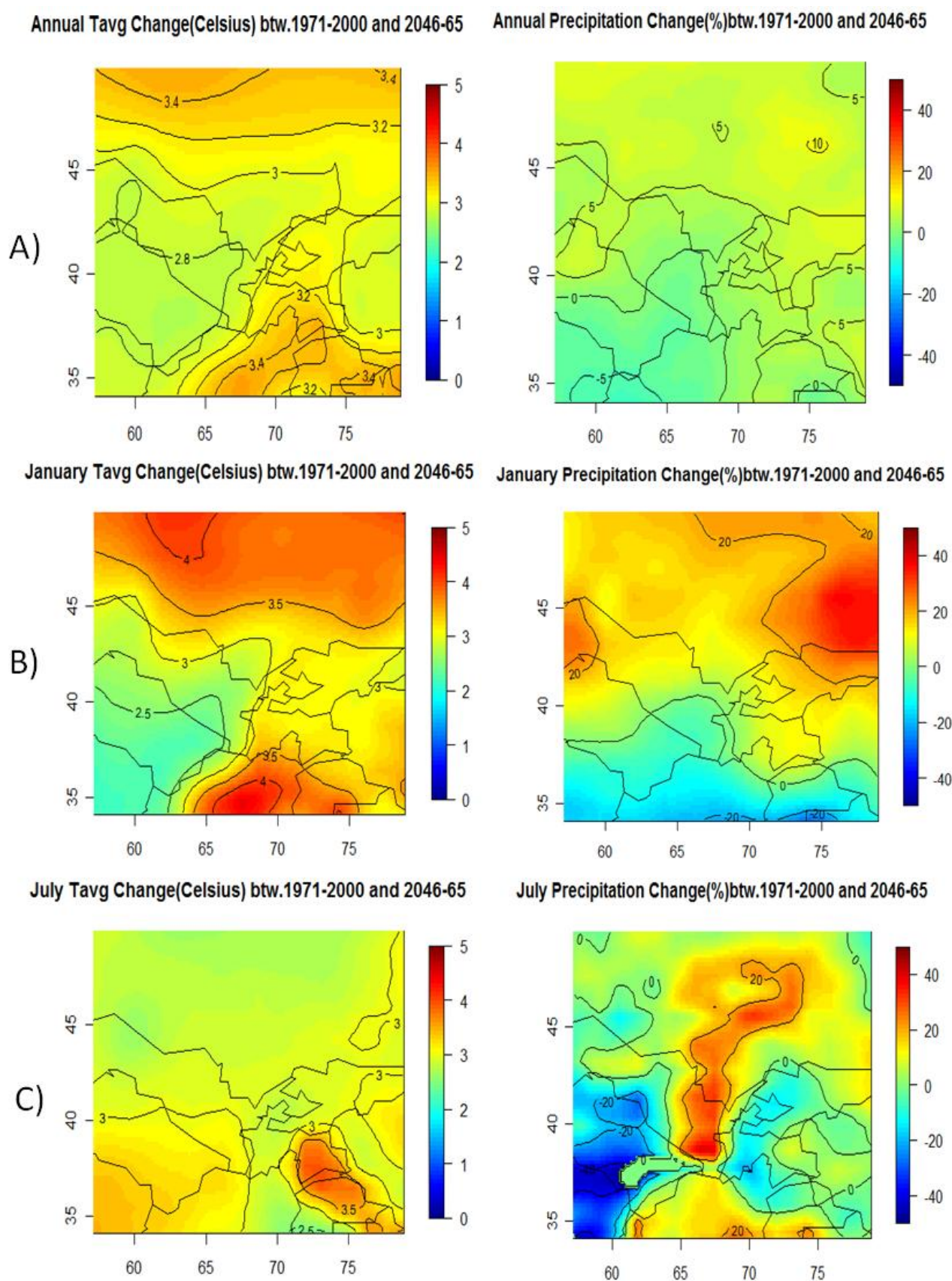
Статистические методы разукрупнения часто применяются, поскольку они требуют меньше вычислительных усилий, чем динамические разукрупнения, они предлагают возможность для тестирования сценариев на многие десятилетия или даже века и включают в себя возможность использовать «ансамбль» результаты МОЦ. Для статистического разукрупнения длинных временных рядов необходимых наблюдений, можно также осведомиться может ли климат сегодняшнего дня, изобразить будущие условия. Динамическое разукрупнение является физически обоснованным подходом и, например, включает в себя множество обратных связей в климатической системе. Однако этот метод сильно зависит от граничных условий, определяемых МОЦ, и он чувствителен к параметризации, используемой в РКК для разукрупнения. Он также требует много вычислительных ресурсов и уже в этом смысле не может быть применен в данном проекте.

## 1.6. Результаты работы по моделированию изменения климата

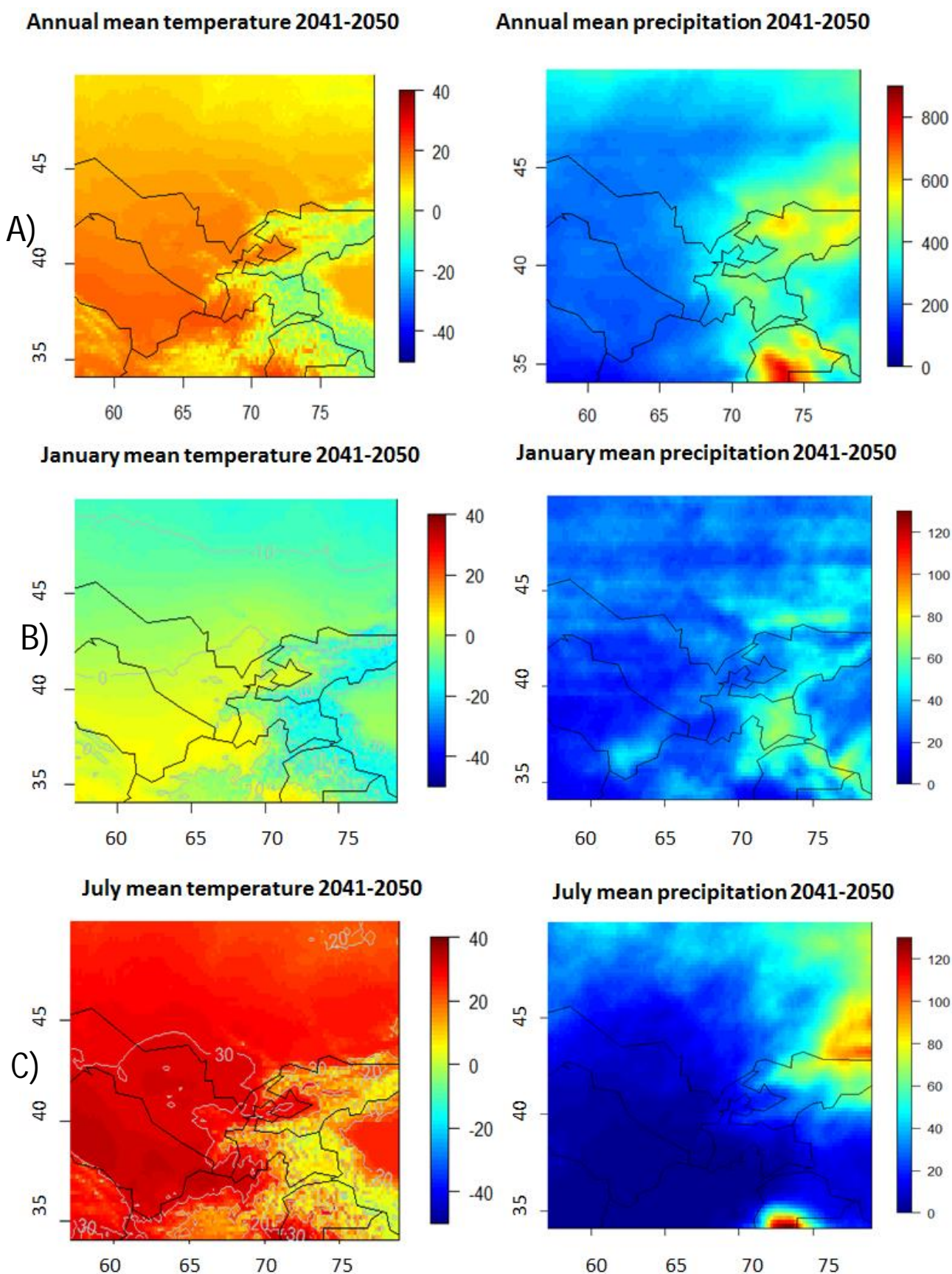
Согласно результатам среднегодовая температура, по прогнозам, возрастет примерно на три градуса и изменения годового количества осадков в течение ближайших 40 лет очень малы (Фигура 1-9). Когда мы смотрим на сезонные изменения атмосферных осадков, уже сухая юго-западная часть становятся еще суше, и особенно в летний период. В некоторых местах в горах осадки могут увеличиться. Однако есть отклонения от модели к модели (Фигуры 1-9BandC). Повсюду поднимется средняя температура в году. Сильнейшее потепление явится в горах и в северных районах области.

Когда показатель изменения, данный на Фигуре 1-1, является качественно сравнимым с показателем изменений, приведенных на Фигуре 1-9, можно видеть, что общие черты те же самые, т.е. уменьшение осадков в течение летнего сезона в горах совпадают в то же время с повышением температуры. В январе осадки будут увеличиваться в большинстве стран региона за исключением самых южных районов. Результаты, приведенные на Figure 1-9 несут более подробную информацию. К тому же надо хорошо помнить, что хотя модели указывают на изменения в осадках для некоторых засушливых регионов даже больше, чем на 20%, это означает, что в реальности практически не измеримых изменений, как количество осадков в этих регионах являются мизерными.

Прогнозируемое изменение означает, например, что температурные изотермы будут двигаться на север и вверх по сравнению с прошлым или текущим климатом (Фигура 1-10). Например, в январе расчетная изотерма  $-10^{\circ}\text{C}$ , по прогнозам, переместится на 150-200 км на север в течение ближайших 40 лет. Повышение температуры означает, что изотерма  $0^{\circ}\text{C}$  сдвинется вверх в горные районы, и это приведет к более быстрому таянию ледников.



Фигура1-9. Средние изменения температуры ( $^{\circ}$  C) и выпадения осадков (%) годовых (А), январских (В) и июльских (С) между осуществленных путем моделирования (период моделирования: 1971-2000) и моделирования будущего (пять периодов моделирования: 2045 - 2065). Результаты основанные на проведенных опытах с использованием пяти моделей даны в Таблице 1.

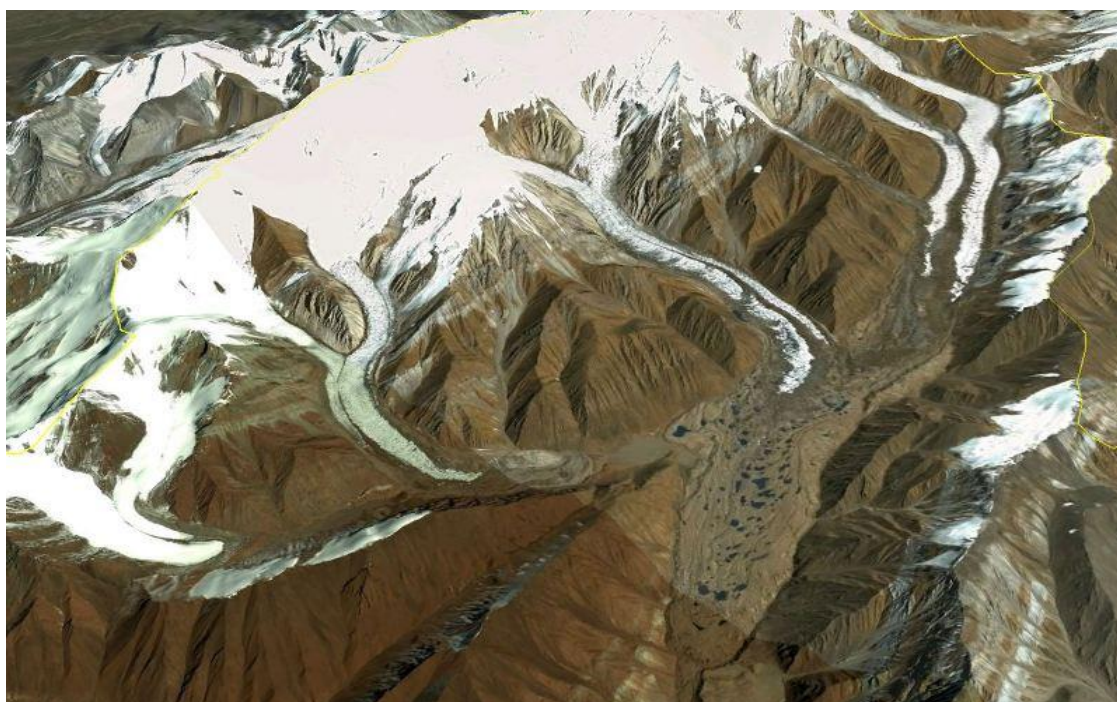


Фигура1-10. Средние значения в 2041-2050 ежегодных (А), январских (В) и июльских (С) температур (° C) и осадков (мм). Значения являются средними из пяти климатических моделей (табл. 1), используемых в проекте.

### 1.7. Резюме работ по моделированию изменений климата

Климатические данные, которые должны применяться в гидрологическом моделировании включают ежедневные средние, максимальные и минимальные температуры и ежедневные данные об осадках по сетке  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$ , покрывающей страны Центральной Азии. Базовый уровень осадков 2001-2010 годов и интерполированные значения температуры базируются на основе измеренных данных. Исходный уровень осадков основан на так называемых данных PERSIANN, за исключением 2006-2007 годов, которые основаны на TRMM данных. Прогнозы будущего климата на период 2011-2050 были обработаны с использованием пяти различных моделей глобального климата. Данные были разукрупнены до плотной сетки с использованием статистических методов уменьшения масштаба. Деятельность по наращиванию потенциала включает производство учебных материалов и проведение семинаров и презентаций по таким вопросам, как: сбор данных по глобальному климату, моделирование климата, пространственная интерполяция, статистическое разукрупнение и R программирование. Учебные материалы были доставлены для использования стажерами Проекта. Те же предметы были включены также в программу заключительного семинара проекта.

Работа по моделированию изменений климата производилась путем набора данных, которые были использованы затем в гидрологическом моделировании. Выводы в проекте были представлены для прошлого и настоящего климата, и изменения, которые будут иметь место в будущем. Такие изменения в разных частях бассейна Аральского моря и будущих горных ледников очень разнообразны является ключевым результатом (Фигура 1-11). Будущие изменения в температуре и осадках являются важными факторами, воздействия климатических изменений вместе с речными потоками, например, на социально-экономические и экологические проблемы.



**Фигура1-11. Главнейший вопрос при моделировании работы, это предсказать судьбу горных ледников в верховьях водосборных бассейнов. За последние столетия в Центральной Азии языки почти всех долинных ледников отступили (NE Таджикистан, Курумды регион, GoogleEarth).**

## 1.8. Сылки

- Haylock, M., Hofstra, N., Klein Tank, A., Klok, E., Jones, P. and New, M., 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, D20119, doi: 10.1029/2008JD010201
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Kaushik, G., Wang, N-Y., Ferraro, R., Liu, C., 2010. Status of the TRMM 2A12 Land Precipitation Algorithm *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* Volume 27, Issue 8 (August 2010) pp. 1343-1354 doi: 10.1175/2010JTECHA1454.1 Abstract
- Nakicenovic, N. & Swart, R. (eds.). 2000. *Special Report on Emission Scenarios*. A special report of Working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp
- Pebesma, E.J., 2004. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691

## 2. ГОРНАЯ СРЕДА

### 2.1. География

Горы Центральной Азии (Тянь-Шань и Памир) являются геологически довольно молодыми (540 - 250 млн. лет). Они очень высокие, остроконечные, и крутосклонные. Самые высокие пики в бассейне Аральского моря это Тянь-Шанские горы часто 4000 - 5000 м и с 7000 м пиками. Горы Памира в бассейне Аральского моря включают в себя несколько пиков, которые являются более 7000 м. Самый высокий пик - это Исмаила Сомони ( бывший пик Коммунизма) высотой 7495 м.

Ледники в бассейне Аральского моря занимают 18128 км<sup>2</sup>, , и играют они важную роль в гидрологии, так как они поставляют талую воду и в течение засушливых летних месяцев. Горные ледники включают в себя: 1) Небольшие ледниковые цирки, покоящиеся на довольно крутых горных склонах; 2) Большие ледяные шапки охватывает горные вершины, связанные с долинными ледниками, узкие и длинные языки льда, стекающие в П-образные долины.

Процентное соотношение площади оледенения двух водосборных бассейнов существенно отличается. Ледники Аму-Дарьи охватывает 15500 км<sup>2</sup> (2% от площади) и 1,800 км<sup>2</sup> - Сыр-Дарьи (0,15% от площади). Самые большие ледники находятся в горах Памира в Таджикистане.

Ледники транспортируют дебрисные отложения, которые образуют морены в боковой части и по краям ледника. Боковые морены занимают края ледника. Терминал или в конец морены формируются в подошве или завершающей части ледника. Срединные морены образуются, когда два разных потока льда, текут в одном направлении, объединяются с боковой мореной и каждая объединенная в совокупности образуют моренное поле в середине объединенных потоков. Выше упомянутый ледниковый мусор может быть очень толстым близко к краю ледника, и это приведет к замедлению таяния льда. Поскольку ледниковый язык покрывается мусором, трудно определить, где находится его фактический край.

### 2.2. Свидетельство таяния ледников

Хорошо известный факт, что ледники достигли своего максимума в голоцене 1850-х годов (Kutuzov&Shahgedanova 2009). В большинстве ледников конечную морену, показывающую максимальную протяженность ледника, можно ясно увидеть в долинах. Ледники относительно быстро реагируют на изменение климата (температура, осадки, влажность и облачность). Если снегопад (накопления), поддерживающий сохранение ледников сокращается, или если есть увеличение потери льда (абляция), эти результаты приведут к спаду ледника или общему истончению массы льда (или то и другое), как правило, в течение нескольких лет .

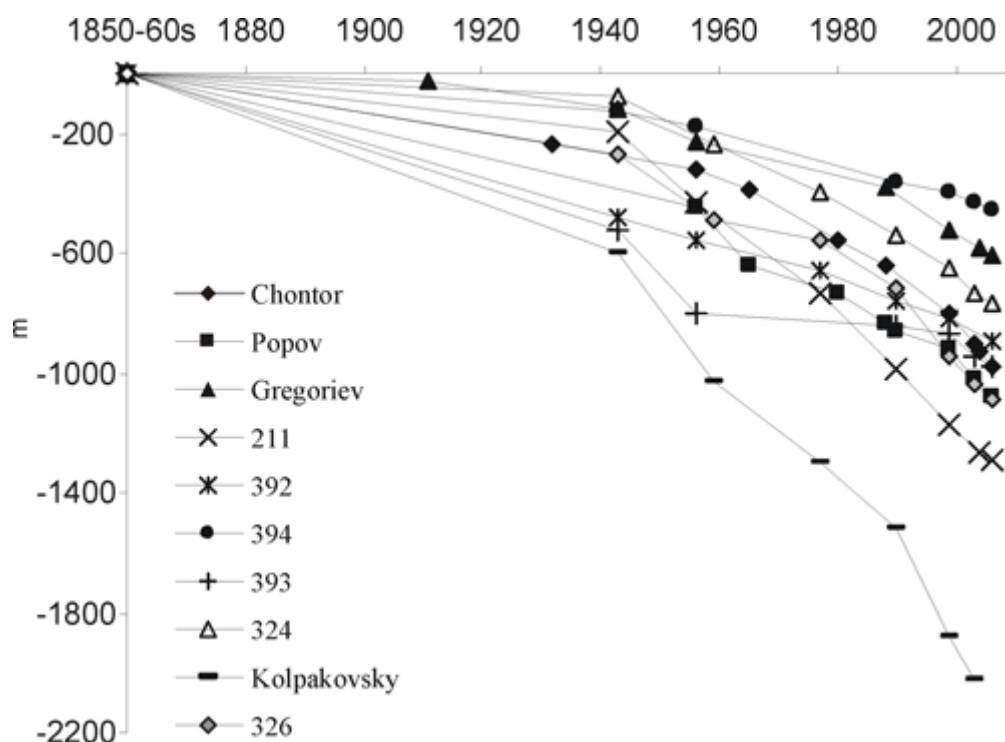
Все ледники имеют свою собственную динамику, и это является общим, что иногда их краевые части отступали, а в другие времена наступали. Несколько ледников имели периоды очень быстрого продвижения, называемого скачком. Эти ледники демонстрируют нормальное движение, пока вдруг они не начинают ускорять, а затем возвращаются к своему

прежнему состоянию. Во время этих скачков, ледник может достигать скорости гораздо большей, чем нормальная скорость, а края могут продвигаться дальше. Например, Медвежий ледник в Таджикистане периодически перемещается вниз каждые 12-15 лет.

Как только повышается температура, почти всюду наблюдается отступление ледников в горных долинах, что является одним из самых заметных символов глобального потепления. Общая картина распространенной рецессии является однозначной и отражает хорошо известное свидетельство глобального потепления. Immerzeel и соавт. (2010) предполагают, что ситуация в Азии является намного сложнее. Хотя, как представляется общая потеря льда в этом регионе, а в некоторых регионах на больших высотах, таких как Каракорум показывают увеличение, и неясность в отношении темпов изменения является значительными

Ледник Федченко большой ледник на Памире в центральном Таджикистане на высоте 2900 - 6300 м. Ледник длинный и узкий, в настоящее время 77 км в длину и площадью более 649 км<sup>2</sup>. Это самый протяженный ледник в мире за пределами полярных регионов. Максимальная мощность ледника составляет 1000 метров, а объем ледника Федченко и его ответвлений оценивается в 144 км<sup>3</sup> (Aizen&Aizen 2010). Кромка этого ледника отступила на 1 км за 70 лет.

В течение последних 50 лет в западном Памире, площадь оледенения в бассейне реки Пяндж сократилась более чем на 25-30%. В Восточном Памире, климат холоднее и таяние ледников происходит менее интенсивно, чем во всех других горных районах региона. Средняя скорость отступления 1-2 м/год, в то время как в некоторых случаях это может быть до 100 м / год.

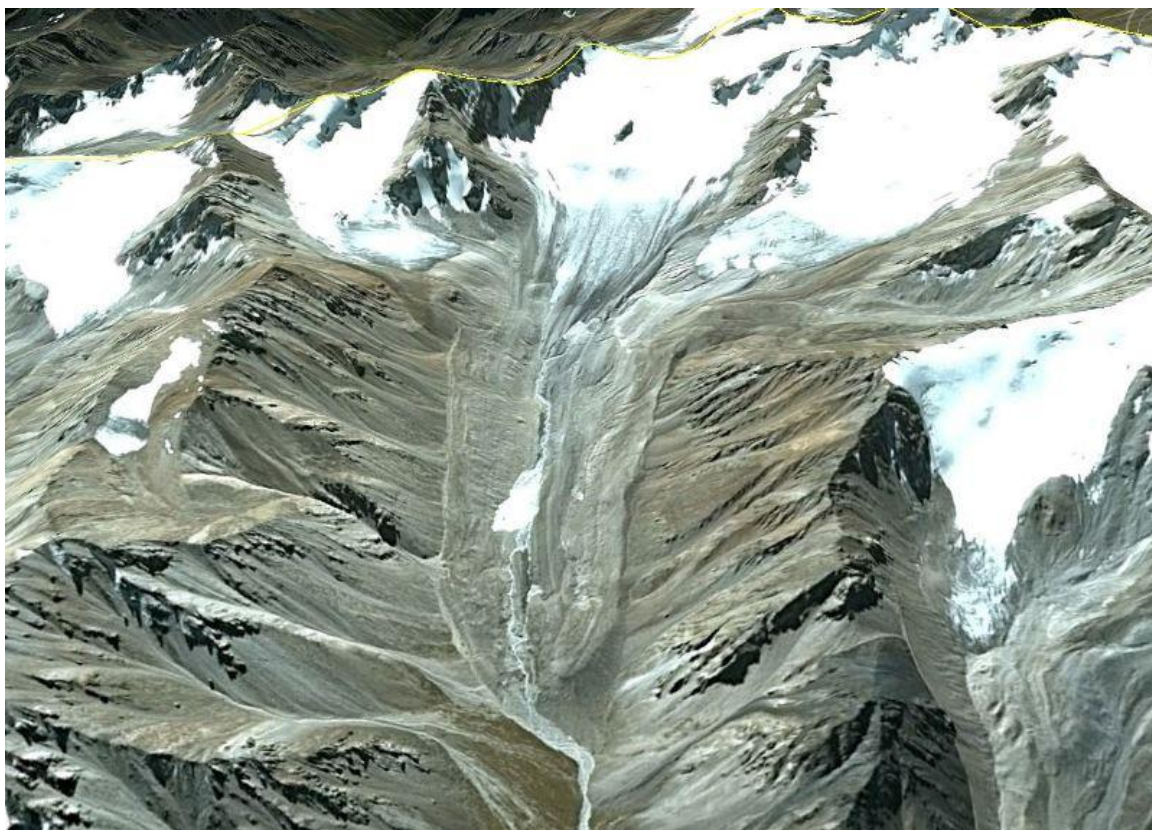


**Фигура 2-1. Отступление ледников в восточном Тянь-Шане, Кыргызстан, показывают ускорение тенденции, особенно после 1940г (Kutuzov&Shahgedanova 2009).**

Ледники в горах Тянь-Шаня и Памира отступают и темпы отступления варьируют в зависимости от региона и времени. Крупнейший темп отступления был обнаружен в Северном Тянь-Шане, где площади оледенения сократились на 30-40% во второй половине 20-го века. Дальше на восток и юг темпы таяния ледников были медленнее, тем не менее, ускорение отступления ледника было отмечено в восточном Памире с 7,8% по сравнению с 1978-1990 до 11,6% по сравнению с 1990-2001 периодов. Ледники потеряли 12,6% (0,33% / год) их площади за период 1965-2003гг. Малые ледники уменьшились больше, чем средние (Figure 2-1) (Kutuzov & Shahgedanova 2009).

Было подсчитано, что ледники в бассейне Сыр-Дарьи потеряли 14% от общего их объема за последние 60 лет, и 15-40% объема будет потеряно в ближайшие 40 лет (Siegfried et al., 2010). В этом докладе мы будем моделировать более точно скорость плавления ледников в бассейне Аральского моря.

Работа по моделированию в этом проекте покажет, что произойдет с ледниками и стоком в ближайшие 40 лет. В настоящем документе показано, что небольшие ледяные шапки особенно в Тянь-Шане исчезнут, а также резко уменьшится ледниковая талая вода (Figure 2-2). Важно осознавать, что потепление климата и таяние ледников уже происходит, особенно после 1940 года. Очевидно, что существует тенденция ускорения таяния ледников.

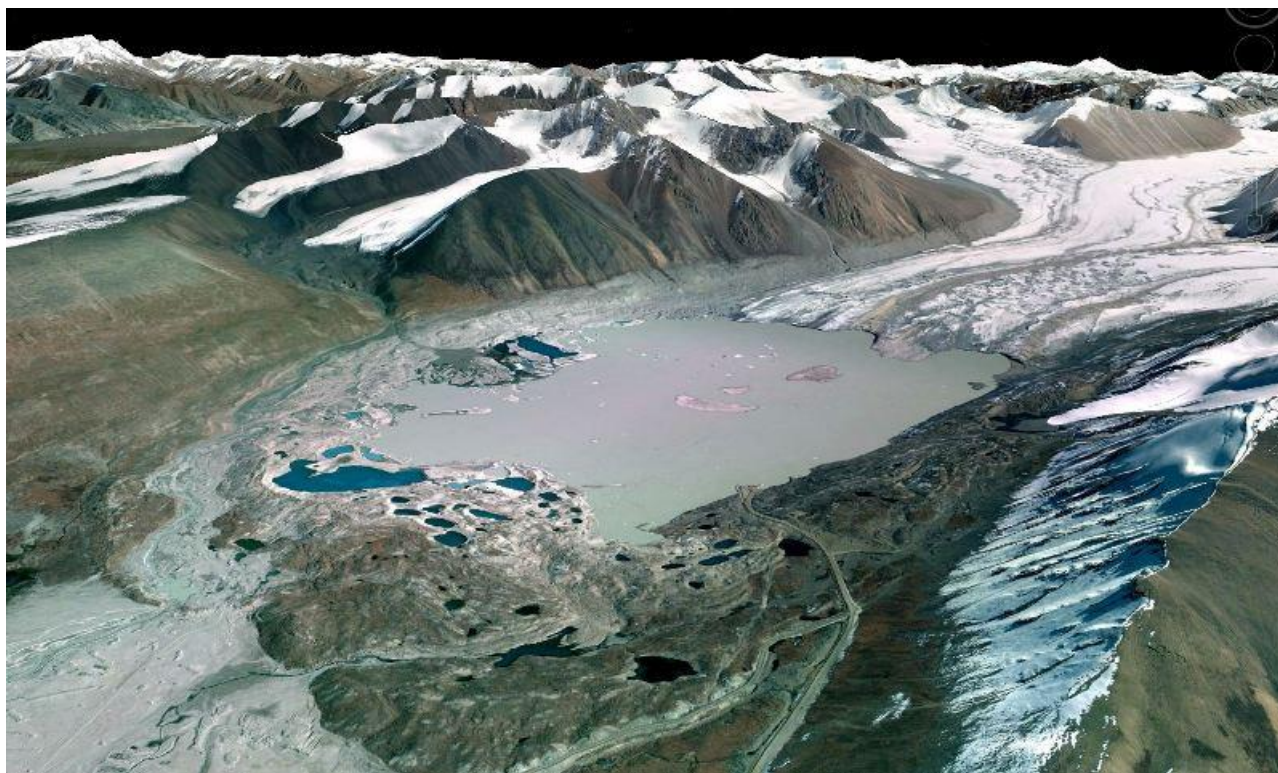


**Фигура 2-2. Геоморфологические данные, краевые морены указывают на большой размер ледника, показывает, что ледники уже существенно отступили в течение последних 150 лет (КАЗ / КГЗ граница, г. Алматы; GoogleEarth).**

### **2.3. Стихийные бедствия, усугубленные изменением климата**

Современная ледниковая пульсация, прорыв образованных ледником дамб подпрудных озер и селевые потоки вызвали большие катастрофы в Центральной Азии. Многочисленные регулярные колебания протяженного ледника также может угрожать инфраструктуре, сооружениям и имуществу. Ледники различной геометрии, расположенные в различных климатических режимах, будут по-разному реагировать на изменения климата.

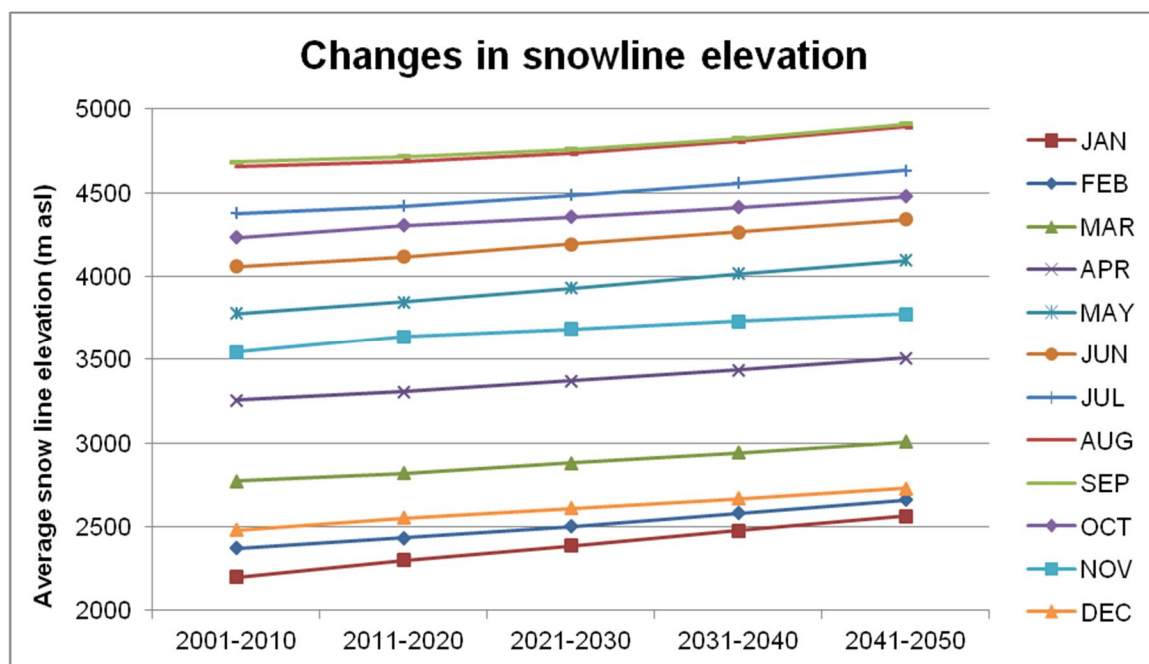
Новые приледниковые озера могут быть образованы, когда, возможно ледяное ядро морены создаст дамбу перед быстро отступающим долинным ледником (Фигура 2-3). Такие озера могут иметь большой объем воды и, когда рухнет плотина, может произойти катастрофический паводок. Интервенция по защите от паводков необходима в районах, которые были определены как находящиеся в уязвимом положении от ущерба, нанесённого паводком.



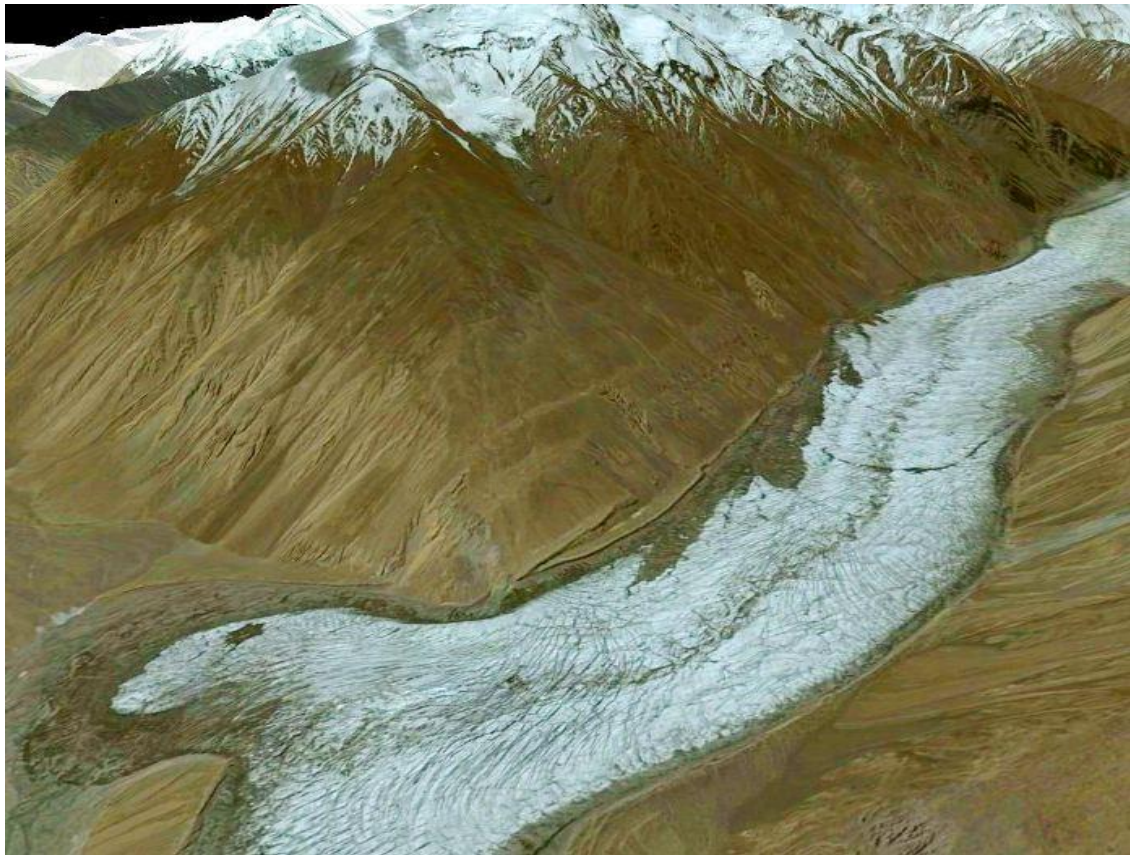
**Фигура 2-3. Приледниковое озеро Петров в Кыргызстане сформировалось в результате таяния ледника. Бывшие 150 лет Старые краевые морены за предыдущие 150 лет перекрыли озеро (GoogleEarth).**

Снеговая линия повысится на 200-300 метров в среднем до 2050 (Фигура 2-4). Склоны возвышенностей, которые всегда были покрыты снегом будут

подвергаться эрозии. Таяние вечной мерзлоты в высоких горах сделают склоны нестабильными, и это будет генерировать оползни и сели (Фигура 2-5). Такие бедствия могут быть опасны для поселений и инфраструктуры вниз по течению. Результаты моделирования не указывают на увеличение возникновения весенних наводнений в будущем, но в связи с ростом селей, последствия наводнения вероятно, будут более катастрофическими, чем раньше.



Фигура 2-4. Высокое пространственное положение климатических снегов (в среднем  $T = 0^{\circ} \text{C}$ ) и его рост в результате изменения климата в районе исследования.



**Фигура 2-5. Рост вечной мерзлоты в высокогорье обнажат новые области для эрозии. Поэтому, оползни и селевые потоки стали обычным явлением в верхних частях горных хребтов (Северный Пакистан; GoogleEarth).**

#### 2.4. References

- Aizen, V. & E. Aizen (2010). Diagnosis of changes in alpine water storages and land surface degradation in Pamir mountains and Amu Dar'ya River basin. Annual, second year progress report. University of Idaho, USA. 20 pp.
- Immerzeel, W. W., L. P. H. van Beek, and M. F. P. Bierkens (2010). Climate change will affect the Asian water towers., *Science*, 328(5984), 1382-1385, doi: 10.1126/science.1183188.
- Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20538947> (Accessed 20 July 2011).
- Kutuzov, S & M. Shahgedanova (2009): Glacier retreat and climatic variability in the eastern Terskey-Alatoo, inner Tien Shan between the middle of the 19th century and beginning of the 21st century. *Global and Planetary Change*, 69 2009, p. 59-70.