



Оценка влияния изменений климата на развитие и урожайность пшеницы

Мария Глазырина, Тулкун Юлдашев

Консультационный тренинг «Детализация моделей изменения климата: воздействие на сельское хозяйство и адаптация посредством УУЗР в ЦА»

Ташкент, 16-20 июня 2014 г.

Адаптация к Изменениям Климата в Центральной Азии и КНР

- **Финансирование:** Азиатский Банк Развития
- **Продолжительность проекта:** Декабрь 2009 – Декабрь 2011
- **Участники:**
 - Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Узбекистан, *Китай*
 - ИКАРДА, ИФПРИ
- **Координатор:** д-р Аден Ав-Хасан (SEPR, ICARDA)
- **Исполнители:** ИКАРДА, ИФПРИ

2

Национальные партнеры

- Узбекский Научно Исследовательский Институт Хлопководства;
- Среднеазиатский НИИ Иригации и Меллиорации, Узбекистан;
- Институт Почвоведения Таджикской Академии Сельскохозяйственных Наук;
- Казахский НИИ Почвоведения и Агрохимии им. У.У. Успанова;
- Кыргызский НИИ Земледелия;
- Национальные Гидрометеорологические Службы четырех стран.
- Казахский НИИ Сельскохозяйственной Экономики и Развития Сельскохозяйственных Территорий
- Кыргызский Национальный Сельскохозяйственный Университет
- Узбекский НИИ Рыночных Реформ
- Таджикский НИИ Сельскохозяйственной Экономики
- Таджикский НИИ Экономики



Цели исследования:

1. проанализировать текущее состояние выбранных агро-экосистем, их экологическую значимость и угрозы, связанные с неклиматическими факторами, обусловленными антропогенным воздействием;
2. разработать сценарии изменения климата для выбранных агро-экосистем;
3. оценить влияние климатических изменений на выбранные агро-экологические системы на основе разработанных сценариев изменения климата;
4. разработать сценарии социо-экономического влияния на нищету и продовольственную безопасность в странах исследуемого региона
5. разработать рекомендации и стратегии адаптации к климатическим изменениям

4

Компоненты проекта

-
- А. ГИС (руководитель – Др. Эдди де Пау, начальник отдела ГИС, ИКАРДА)**
 - Агро-экологическое описание (агро-экологическое зонирование, АЭЗ)
 - Оценка деградации земель
 - Сценарии изменения климата (регионально-адаптированные результаты МОЦ)
 - Региональная оценка
 - В. Моделирование выращивания с/х культур (руководитель – Др. Рольф Соммер, специалист по плодородию почв, IWLMR, ИКАРДА)**
 - Калибровка и оценка модели для пшеницы, выращиваемой при современных климатических условиях в выбранных агро-экологических системах исследуемого региона
 - Моделирование влияния климатических изменений на продуктивность сельскохозяйственных культур на основе сценариев изменения климата, разработанных для выбранных агро-экологических систем
 - С. Социо-экономический анализ уровня жизни (руководитель - Др. Аден Ав-Хасан, директор SEPR, ИКАРДА)**

5

Возможное биофизическое воздействие изменения климата на рост и развитие пшеницы в ЦА

1. Рост температуры
 - более теплая зима и ранняя весна (для озимых) → благоприятные условия на ранних стадиях развития, меньше ущерб от заморозков
 - более жаркая поздняя весна, более жаркое лето → тепловой стресс (снижение урожая зерна)
 - Сокращение продолжительности стадий развития → снижение производства биомассы
 2. Изменение количества и интенсивности осадков
 3. Рост CO₂
 - “эффект подкормки углекислым газом” → небольшое увеличение роста культуры
- Взаимодействие 1. – 3.

6

Что делать если невозможно поставить эксперимент?

Использовать модель

Модели основаны на уравнениях, которые получены из теории или гипотез о фундаментальной природе (биологической) системы

Но прямое измерение всегда будет более точным, чем оценки полученные с помощью моделирования!

7

Эффект подкормки углекислым газом в CropSyst

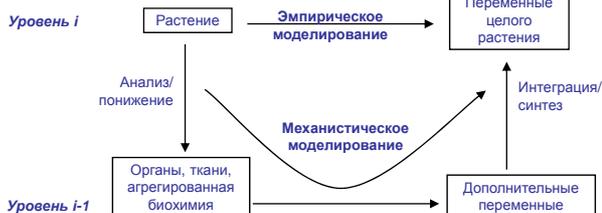
- Увеличение коэффициента использования радиации (ϵ) в количество раз, равное G-ratio
- Уменьшение проводимости растительного покрова, повышение эффективности использования воды

Уравнения для расчета производства биомассы в CropSyst при заданной концентрации CO_2

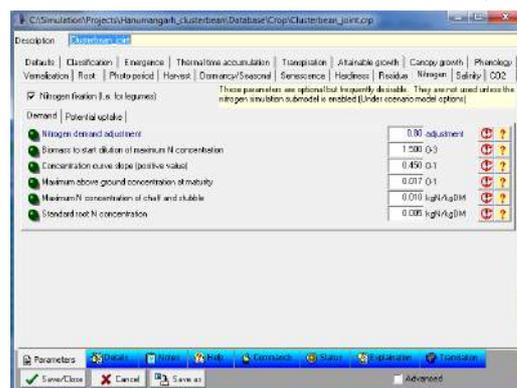
Biomass production	$B = \text{Min}(\epsilon \text{IPAR}, kT)$
Effective transpiration efficiency	$K = k / \text{VPD}$
CO_2 dependence of ϵ	$\epsilon = \text{Gratio}^* r_0$
CO_2 dependence of k	$k = \text{Gratio}^* k_0 / F$
CO_2 dependence of r	$r = r_0^* ([\text{CO}_2] / 350) / \text{Gratio}$
CO_2 dependence of F	$F = (\delta + \gamma(r_0 + r_a) / r_a) / (\delta + \gamma(r + r_a) / r_a)$

Tubiello et al., 2000

8



Параметры модели выращивания сельхоз культур



10

Критерии выбора модели

Способность моделировать

- Влияние изменения климата на рост культуры:
 - реакция на изменение CO_2
 - реакция на температуру (низкую и высокую)
 - водный стресс (изменчивость количества осадков)
- Влияние близко залегающих грунтовых вод (модуль ГВ; восходящее движение воды в почве)
- Реакция на засоление (засоленные почвы)
- Эвапотранспирация в засушливых условиях
- Реакция на почвозащитные технологии (нулевая обработка, сохранение растительных остатков)
- Автоматическая ирригация

11

Выбранная модель

CropSyst = "Cropping Systems Simulation Model"

- Универсальная система с суточным разрешением, позволяющая моделировать многолетнее выращивание различных культур

- Основана на понимании физиологии растений, свойств почвы, взаимосвязи погодных условий и агротехники

Среда программирования: C++ (объектно-ориентированная)

Разработчики: профессор К. Стёкли и Р. Нельсон

Распространение: бесплатно через сайт <http://www.bsyes.wsu.edu/cropsyst/>

Успешно протестирована в Центральной Азии (ЗЕФ/исследовательский проект UNESCO, Хорезм, Узбекистан)



12

Требуемые данные



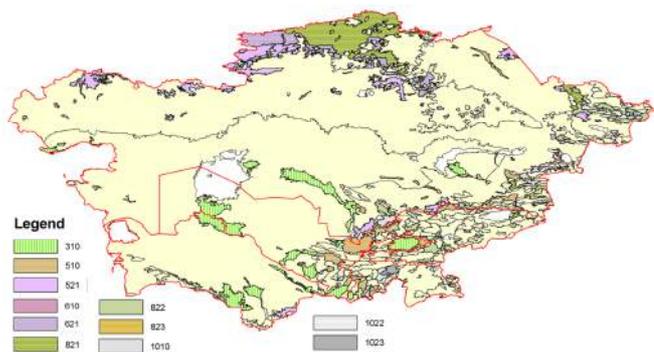
13

Критерии выбора участков

- Местонахождение участка в выбранной агро-экологической зоне
- Репрезентативность экспериментов и сортов
- Наличие данных, необходимых для калибровки CropSyst
- В пределах возможностей модели CropSyst

14

Выбранные АЭЗ



15

Выбранные АЭЗ

АЭЗ	Описание	Страны (в порядке распространения)
310	орошаемая пшеница в засушливом климате с холодным зимним и жарким летним периодами	Узбекистан, Казахстан, Таджикистан
510, 521	орошаемая или богарная пшеница в полупересушливом климате с холодным зимним и, в основном, теплым летним периодами	Казахстан, Узбекистан, Таджикистан, Кыргызстан
610, 621	орошаемая или богарная пшеница, главным образом, в полупересушливом климате с, в основном, холодным зимним и умеренным летним периодами	Казахстан, Кыргызстан
821, 822, 823	Богарная пшеница в полувлажном климате с холодными зимними и умеренными летними периодами	Казахстан, Кыргызстан, Узбекистан
1010, 1022, 1023	Орошаемая или богарная пшеница во влажном климате с холодным зимним и умеренным летним периодами	Казахстан, Таджикистан, Кыргызстан, Узбекистан

16

Выбранные участки



Страна	Название участка	АЭЗ	Страна	Название участка	АЭЗ
Казахстан	Шевли	310	Таджикистан	Фаробанд	1022
	Астана	521		Шахристан	532
	Петропавловск	821		Хорасан	510
	Костанай	521		Бакт	510
Узбекистан	Хорезм	310	Спитамен	510	
	Андижан	510	Учкэз	510	
	Нушанган	510	Жаны Пахта	510	
	Кува	310	Данияр	510	
	Акивак (2 эксперимента)	510	КырниИЗ	510	

17

Калибровка и оценка модели

Калибровка это процесс изменения параметров модели с целью улучшения качества прогнозов; обычно осуществляется путем сравнения наблюдаемых величин с результатами моделирования.

Оценка позволяет определить, насколько точно модель воспроизводит реальные процессы, путем выполнения моделирования на независимых данных, полученных в условиях близких/сравнимых с использованными при калибровке.

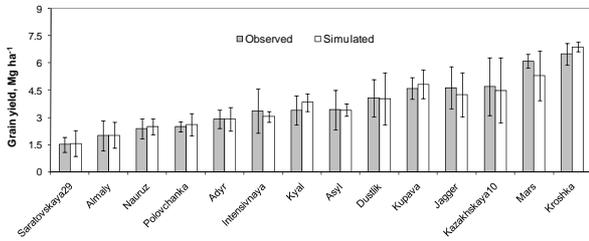
Статистическая оценка соответствия
(Относительная) среднеквадратическая ошибка

$$RMSE = \sqrt{\sum (Y_{oi} - Y_{si})^2 / n} \quad RRMSE = \frac{\sqrt{\sum (Y_{oi} - Y_{si})^2 / n}}{\sum Y_{oi} / n} \times 100$$

18

Результаты калибровки

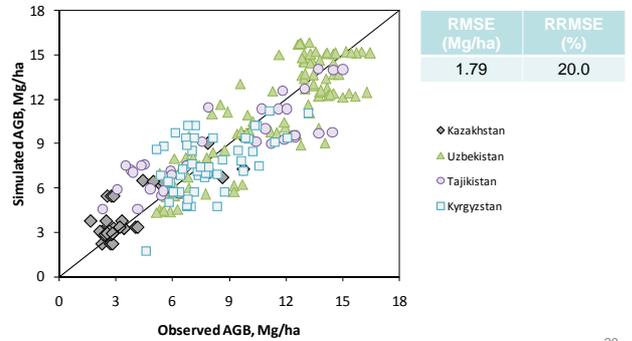
Наблюдаемый и смоделированный урожай по сортам



19

Результаты калибровки

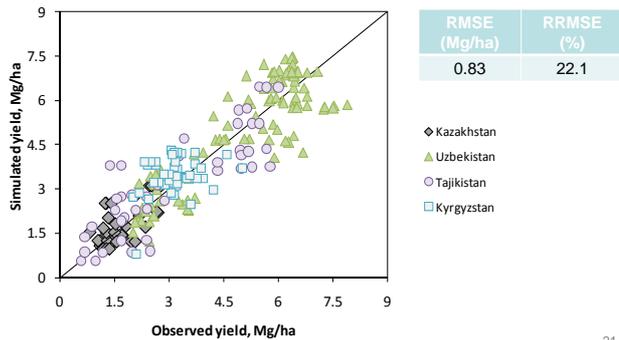
Связь смоделированной и наблюдаемой наземной биомассы по странам



20

Результаты калибровки

Связь смоделированного и наблюдаемого урожая по странам



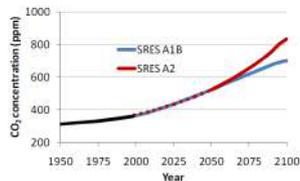
21

Генерирование метеорологических данных

- **Исторический период:** базы данных национальных метеорологических служб, ИКАРДА и www
- **Будущее:** на основе сценариев эмиссии парниковых газов IPCC, 2007
 - **A2:** наиболее пессимистичный; предполагает продолжение роста населения, рост дивергенции между регионами, ограниченное внедрение технологических инноваций
 - **A1b:** ни оптимистичный ни пессимистичный; предполагает стабилизацию роста населения, продолжение глобализации, баланс между использованием ископаемых и не ископаемых топливных ресурсов
- **Периоды будущего:**
 - Ближайшее будущее: 2011-2040
 - Промежуточное будущее: 2041-2070
 - Отдаленное будущее: 2071-2100

22

Изменение климата– концентрация CO₂



Рост концентрации CO₂ в атмосфере по прогнозу SRES A1B и A2 (перерисовано из МГЭИК, 2000)

Сценарий эмиссии	Будущее	Концентрация CO ₂ в атмосфере (ppm)
Исходный		350
A1B	ближайшее	435
	промежуточное	544
	отдаленное	656
A2	ближайшее	435
	промежуточное	550
	отдаленное	726

23

Сценарии изменения климата

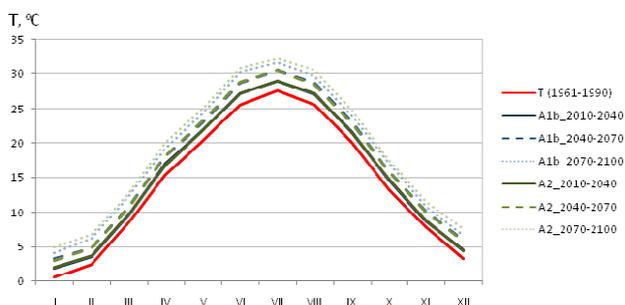
Данные, лежащие в основе: семь МОЦ МГЭИК

No	Name	Country	Year	Resolution (degrees)
01	BCCR-BCM2.0	Norway	2005	2.8 x 2.8
02	CSIRO-MK3.0	Australia	2001	1.9 x 1.9
04	MIROC3.2	Japan	2004	2.8 x 2.8
08	CGCM3.1(T63)	Canada	2005	2.8 x 2.8
09	CNRM-CM3	France	2005	2.8 x 2.8
10	ECHAM5/MPI-OM	Germany	2003	1.9 x 1.9
12	GFDL-CM2.0	USA	2005	2 x 2.5

→ Осредненное по семи моделям отклонение от климата базового периода (температура и осадки)

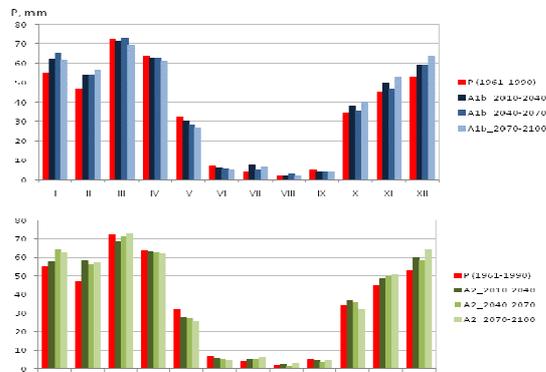
24

Пример: температура, среднее месячное отклонение от базового периода, Аккавак (Уз)



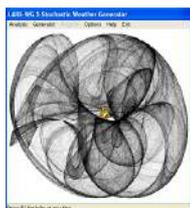
25

Пример: осадки, среднее месячное отклонение от базового периода, Аккавак (Уз)



26

Генераторы погоды

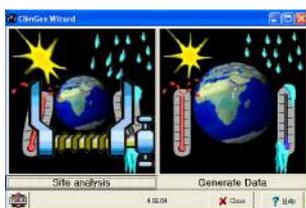


LARS-WG

Стохастический генератор погоды

Разработчик М. Семенов (Ротамстед)

Распространение: Бесплатно через сайт <http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/mas-models/larswg.php>



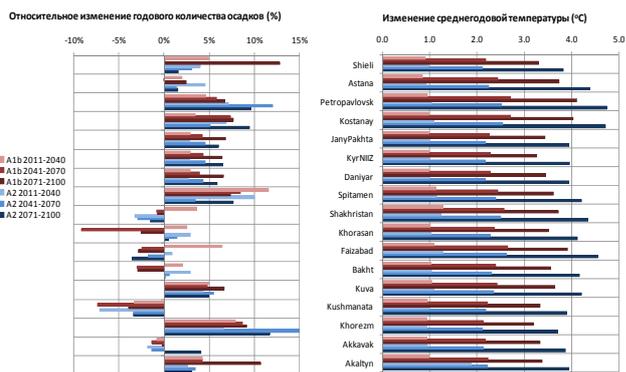
ClimGen

Модифицированная версия WGEN, разработанного Г.С. Кэмпбелом, Вашингтонский Государственный Университет.

Распространение: Бесплатно через сайт http://www.bsye.wsu.edu/CS_Suite/ClimGen/index.html

27

Изменения климата для выбранных участков



28

Принятые агротехники (БАУ)

- Определение агротехнических сценариев, основанных на традиционных принятых агротехниках
→ Иммитационная модель должна отражать реальность

29

Принятые агротехники (БАУ)

Информация по БАУ:

От группы социо-экономической группы:

1. Тип удобрений
2. Норма удобрений
3. Срок сева
4. Первая неделя полива
5. Последняя неделя полива
6. Количество поливов
7. Уборка урожая

+ Местные рекомендации:

1. Сроки внесения удобрений
2. Сроки поливов
3. Оросительные нормы

Агротехника	Дата сева	Внесение удобрений	Полив
Оптимальная	Зависит от местоположения	Максимальное	Рекомендуемый
Средняя		Среднее	Средний
Ниже оптимальной		Минимальное	Ограниченный

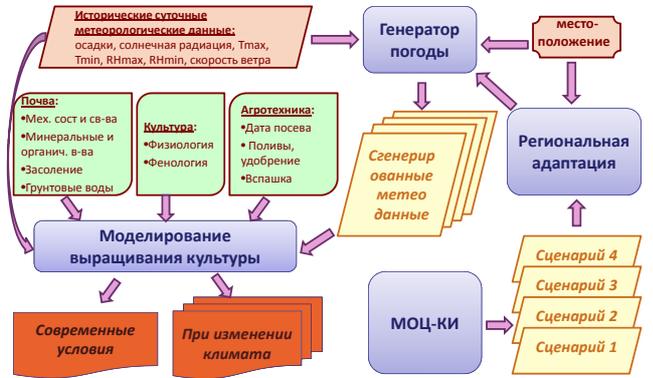
30

Пример: Сценарии БАУ для Шиели (Казахстан)

- Метеоданные: Станция Кызыл Орда (1969-1990 гг.)
 - Сорт пшеницы: Алмалы (*Озимый сорт пшеницы*)
 - Агротехника:
 - Ниже оптимальной
 - Срок сева: 01 октябрь
 - Норма N 60 кг/га (-2 подкормки)
 - Орошение 160 мм (2 полива)
 - Средняя
 - Срок сева: 01 октябрь
 - Норма N 90 кг/га (-2 подкормки)
 - Орошение 190 мм (2 полива)
 - Оптимальная
 - Срок сева: 01 октябрь
 - Норма N 140 кг/га (-3 подкормки)
 - Орошение 260 мм (3 полива)
- (вспашка и уборка одинаковые для всех)

31

Моделирование изменений климата

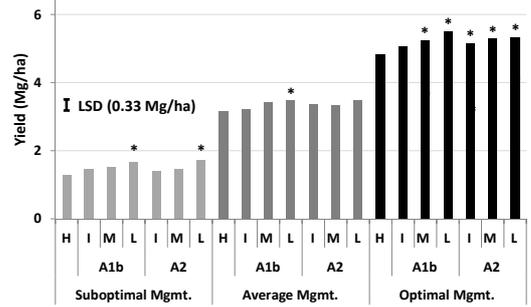


32

Результаты моделирования изменения климата

Урожай зерна

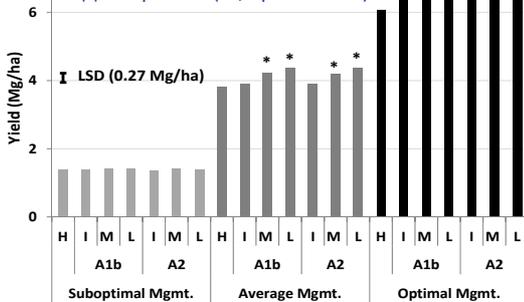
Шиели (КЗ, орошаемый)



34

Урожай зерна

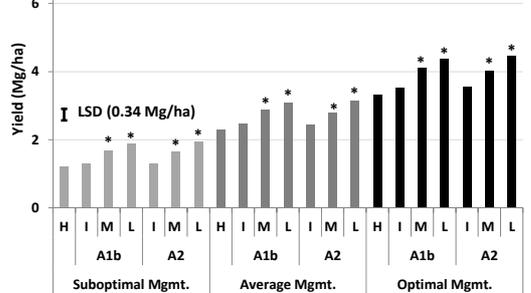
Данияр-Асыл (КГ, орошаемый)



35

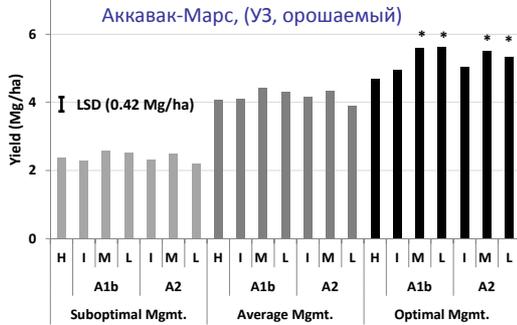
Урожай зерна

Жаны Пахта (КГ, орошаемый)



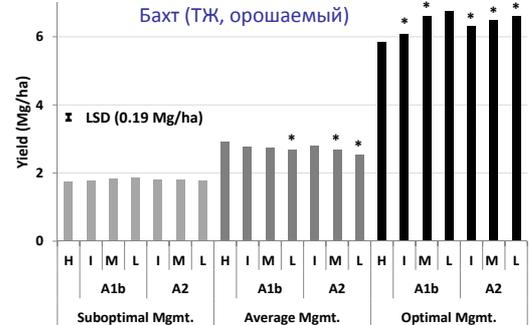
36

Урожай зерна



37

Урожай зерна



38

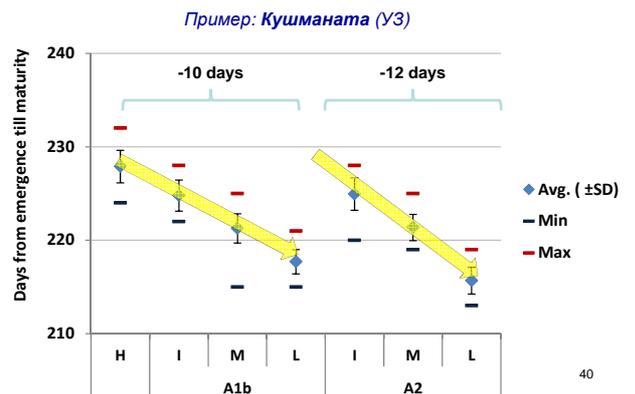
Влияние изменений климата на урожай

Country	Site	Irrigation	CC impact on yield			Change of yield across all Mgmt. levels	
			Suboptimal	Average	Optimal	%	Mg/ha
Kazakhstan	Astana	Rainfed	—	—	—	5	0.11 n.s.
	Kostanay	Rainfed	P	—	—	5	0.11 *
	Petropavlovsk	Rainfed	P	P	—	15	0.32 *
Kyrgyzstan	Shieli	SI	—	—	P	10	0.31 *
	Daniyar	SI	—	P	P	10	0.33 *
	KyrNILZ	SI	—	—	P	14	0.42 *
Tajikistan	Uchkhoz	SI	—	—	—	0	-0.01 n.s.
	ZhanyPakhta	Rainfed	P	P	P	24	0.54 *
	Bakht	SI	—	—	P	4	0.15 *
Uzbekistan	Faizabad	Rainfed	—	P	P	26	0.44 *
	Khorasan	Rainfed	P	P	P	27	0.47 *
	Shahristan	SI	P	P	P	14	0.5 *
Uzbekistan	Spitamen	SI	N	N	—	-3	-0.09 *
	Akaltyn	SI	—	P	P	25	0.47 *
	Akkavak	SI	—	—	P	9	0.43 *
Uzbekistan	Khorazm	Full Irrig.	P	P	P	22	1.3 *
	Kushmanata	Full Irrig.	—	—	—	1	0.03 n.s.
	Kuva	Full Irrig.	P	P	P	18	0.75 *

Влияние изменений климата на урожайность пшеницы N = негативное, P = позитивное, — не значимые изменения; Рост урожая осредненный по трем различным «будущим» и двум сценариям эмиссии парниковых газов относительно урожая за базовый период

39

Число дней от прорастания до созревания



40

Число дней от прорастания до созревания

Country	Site	Change in days from emergence until maturity					
		A1B			A2		
Kazakhstan	Astana	-5	-9	-11	-5	-9	-12
	Kostanay	-3	-5	-7	-3	-6	-7
	Petropavlovsk	-5	-12	-15	-5	-11	-16
Kyrgyzstan	Shieli	-1	-3	-5	-1	-4	-7
	Daniyar, Asyl	-5	-10	-16	-4	-10	-18
	Daniyar, Intensivnaya	-5	-10	-16	-4	-10	-18
Tajikistan	KyrNILZ	2	3	1	3	3	0
	Uchkhoz	-4	-8	-12	-3	-8	-14
	ZhanyPakhta	-3	-6	-9	-2	-6	-11
Uzbekistan	Bakht	-4	-7	-11	-3	-8	-14
	Faizabad	-6	-11	-16	-5	-11	-19
	Khorasan	-3	-6	-9	-3	-6	-11
Uzbekistan	Shahristan	-4	-7	-12	-4	-8	-14
	Spitamen	-4	-8	-13	-4	-8	-15
	Akaltyn	-3	-5	-8	-1	-5	-10
Uzbekistan	Akkavak, Mars	-1	-3	-4	-1	-3	-5
	Akkavak, Kroscha	-4	-8	-13	-4	-8	-15
	Khorazm	-4	-7	-12	-3	-8	-13
Uzbekistan	Kushmanata	-3	-7	-10	-3	-7	-12
	Kuva	-5	-10	-15	-5	-10	-18

41

Число дней от прорастания до созревания

Изменение в числе дней от прорастания до созревания по всем участкам и агротехникам

Сценарий эмиссии	Ближайшее будущее	Промежуточное будущее	Отдаленное будущее
A1B	-3	-7	-11
A2	-3	-7	-12

42

(Минимальная) температура в период вегетации

Country	Site	T _{avg} during vegetative growth				5 % percentile of T _{min}			
		H	I	M	L	H	I	M	L
Kazakhstan	Astana	19.9	20.9	22.3	24.0	8.5	9.4	10.7	12.3
	Kostanay	20.8	21.6	22.9	24.3	8.8	10.0	11.1	12.6
	Petropavlovsk	19.0	19.8	21.2	22.7	8.0	8.7	10.0	11.3
Kyrgyzstan	Shieli	2.2	2.9	3.7	4.7	-18.5	-17.6	-16.4	-15.0
	Daniyar	4.9	5.6	6.5	7.6	-13.4	-12.4	-11.3	-9.9
	KyrNIIZ	4.5	5.2	5.9	7.0	-14.1	-13.1	-12.0	-10.6
	Uchkhoz	4.9	5.6	6.5	7.6	-13.5	-12.5	-11.4	-10.0
	ZhanyPakhta	4.4	5.1	6.0	7.1	-13.7	-12.7	-11.6	-10.2
Uzbekistan	Akaltyn	6.2	7.1	7.7	8.7	-10.0	-9.1	-8.1	-7.0
	Akkavak	8.1	8.9	10.0	11.3	-6.8	-5.9	-4.8	-3.4
	Khorezm	6.3	6.9	7.7	8.5	-10.0	-9.0	-8.2	-7.2
	Kushmanata	7.8	8.4	9.3	10.3	-7.4	-6.8	-5.8	-4.7
Tajikistan	Kuva	6.4	7.1	8.1	9.2	-8.9	-7.9	-6.8	-5.4
	Bakht	8.5	9.1	10.1	11.2	-4.0	-3.4	-2.1	-0.8
	Faizabad	7.2	8.0	9.0	10.2	-5.6	-4.8	-3.4	-2.0
	Khorasán	10.0	10.7	11.7	12.8	-3.8	-3.1	-1.8	-0.5
	Shahristan	5.9	6.7	7.6	8.6	-9.8	-8.8	-7.6	-6.4
	Spitamén	8.9	9.7	10.5	11.6	-4.5	-3.5	-2.5	-1.3

43

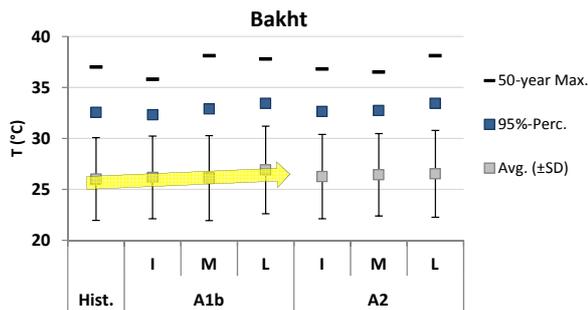
(Минимальная) температура в период вегетации

Изменение средней температуры по всем сайтам и сценариям

	Ближайшее будущее	Промежуточное будущее	Отдаленное будущее
Среднее	+ 0.8	+ 1.7	+ 2.9
Границы	0.6-1.0	1.4-2.4	2.2-4.1

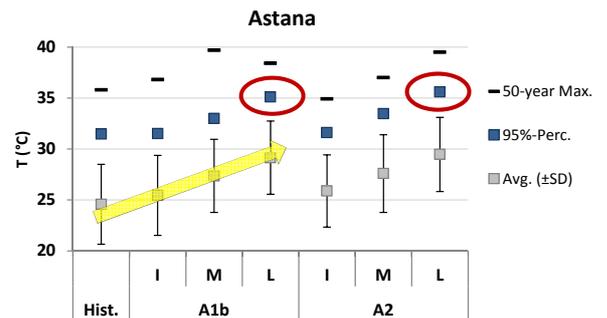
44

Максимальная температура в период цветения



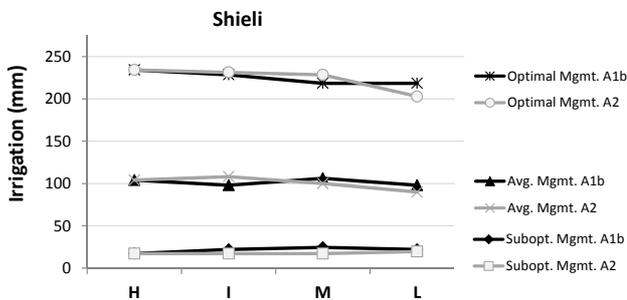
45

Максимальная температура в период цветения



46

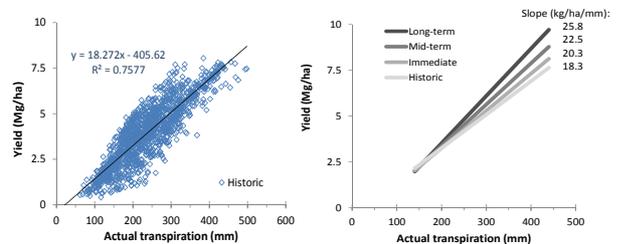
Водопотребность



- Для всех: нет заметных изменений
- Некоторые: снижение потребности в оросительной воде

Эффективность использования воды

Зависимость урожайности от фактической транспирации, Узбекистан



Эффективность транспирации повысилась от 18.3 кг/га/мм при базовом значении CO₂ до 25.8 кг/га/мм в отдаленном будущем

48

Выводы

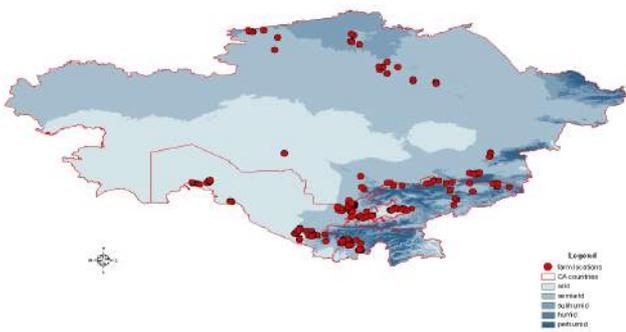
- Повышение зимних и весенних температур воздуха и концентрации CO₂ позитивно влияет на урожайность в пшеницы на большинстве экспериментальных участков в Центральной Азии.
- Незначительное повышение количества годовых осадков внесло лишь небольшой вклад в увеличение урожайности (сбалансировано повышенной водопотребностью).
- Сокращение продолжительности стадий развития не повлияло негативно на накопление биомассы и урожайность.
- Высокие температуры во время цветения могут стать проблемой для озимой пшеницы в долгосрочном будущем в некоторых южных регионах и для яровой пшеницы на севере Казахстана; это задача для селекционеров.
- Вне зависимости от изменения климата, имеется простор для усовершенствования управления водными ресурсами с повышением КПД, уменьшением вымывания азота, и в дополнение возможность избежать засоления почвы.

49

Экономическое влияние изменений климата в Центральной Азии

50

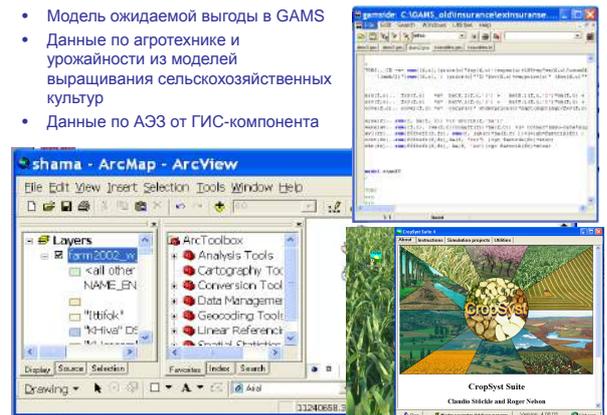
АЭЗ (классы аридности) и расположение населенных пунктов, где проводился опрос



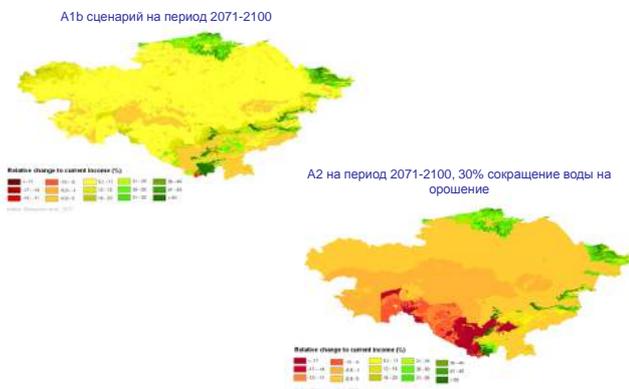
51

Био-экономическая модель фермерского хозяйства

- Модель ожидаемой выгоды в GAMS
- Данные по агротехнике и урожайности из моделей выращивания сельскохозяйственных культур
- Данные по АЭЗ от ГИС-компонента



Некоторые результаты: Пространственное изменение ожидаемого дохода фермеров



Влияние климатических изменений на сельскохозяйственные системы

- Изменения климата по-разному влияют на сельскохозяйственные системы: отмечается положительное влияние на севере и отрицательное на юге
- Большие потери при реализации сценария A2, чем A1b
- Диверсификация культур имеет наибольший потенциал для усиления гарантии получения дохода при климатических изменениях
- Внутрихозяйственные инструменты хеджирования (финансовые инструменты, при помощи которых осуществляется защита от потенциальных рисков) функционируют хорошо в богарных условиях, но имеют ограниченный эффект в орошаемых условиях
- Сильная поддержка государства и надежные соглашения по использованию трансграничных вод наиболее важны для обеспечения средств существования для населения сельских районов на орошаемых территориях

Дальнейшие шаги

- При общем позитивном влиянии климатических изменений на урожайность пшеницы в Центральной Азии мало, что можно сказать о мерах адаптации фермеров к климатическим изменениям.
- При моделировании принималось, что водообеспеченность (выпадение/таяние снега в горах) не снизится существенно в отдаленном будущем. Для решения этой проблемы, моделирование выращивания сельхозкультур в условиях орошения должно быть скомбинировано с гидрологической/климатической оценкой выпадения и таяния снега в горах и влияние на них изменения климата.
- Число культур, рассматриваемых в исследовании, должно быть увеличено для оценки влияния изменений климата на системы сельскохозяйственного производства
- В исследование должна быть включена оценка влияния изменений климата на поражение посевов болезнями, вредителями и сорняками

55

Дальнейшие шаги

- Необходимо улучшить методы регионализации выходных данных МОЦ
- Точечные результаты биофизического моделирования должны быть распространены на уровень областей/государств для использования их в оценке влияний изменений климата на уровень жизни
- Для дальнейшего развития и/или распространения исследований по моделированию влияния изменения климата (углубление анализа сценариев; другие культуры), требуется полное вовлечение партнеров НССХИ, организация дальнейших курсов и тренингов по моделированию выращивания сельхозкультур.

56

