

**Инструмент мониторинга
эффективности водопользования
в Центральной Азии**

WUEMoCA

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

**Инструмент мониторинга
эффективности водопользования
в Центральной Азии**

WUEMoCA

Ташкент 2020

Содержание

Онлайн веб-сервис «Мониторинг эффективности водопользования в Центральной Азии»: цели, возможности и ограничения Конрад К., Духовный В.А., Шорхт Г.....	5
Использование дистанционного зондирования для сельскохозяйственного мониторинга Стулина Г.В., Кенжабаев Ш.М., Солодкий Г.Ф, Рузиев И.И.	18
Сопоставление данных WUEMoSA со статистическими данными по водным ресурсам и орошаемому земледелию Сорокин Д.А.	51
Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова Зайтов Ш., Солодкий Г.	59
Мониторинг эффективности использования оросительной воды в странах Центральной Азии на базе инструмента дистанционного зондирования WUEMoSA и наземных наблюдений Сорокин А.Г., Сорокин Д.А.	71
Перспективы использования инструментов дистанционного зондирования Духовный В.А., Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф.....	84

Онлайн веб-сервис «Мониторинг эффективности водопользования в Центральной Азии»: цели, возможности и ограничения

Конрад К.¹, Духовный В.А.², Шорхт Г.³

¹ Университет Вюрцбурга

² Научно-информационный центр МКВК

³ Green Speen

Страны Центральной Азии сталкиваются с серьёзными проблемами водопользования – дефицит водных ресурсов, ухудшение качества воды и её нерациональное использование. В условиях изменения климата существует риск значительного ухудшения ситуации. Решение данных проблем возможно только путём объединения усилий всех стран Центрально-Азиатского региона. Целью проекта САВа является создание надёжной базы научных данных, которая поспособствует развитию устойчивых стратегий эффективного водопользования в регионе.

WUEMoSA — научный инструмент веб-картографирования для мониторинга эффективности земле- и водопользования на территории бассейна Аральского моря (Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана, Узбекистана и Афганистана). Путём интеграции спутниковых данных по землепользованию, растениеводству и потреблению воды с гидрологическими и экономическими данными создаётся целый набор показателей. Инструмент полезен для выработки масштабных решений в вопросах распределения воды и землепользования, а также может применяться во многих практических сферах, в которых требуются независимые данные о конкретных обширных территориях.

В разработке инструмента приняли участие:

НИЦ МКВК:

Зайтов Шерзод

Кенжабаев Шавкат

Курбанова Клара

Муминов Шерзод

Рузиев Ислон

Солодкий Георгий
Сорокин Анатолий
Сорокин Денис
Стулина Галина
Тошпулатов Рустам
Усманова Ойгуль
Эргашев Икром

Университет Вюрцбурга

Мёллер Маркус
Морпер-Буш Люция
Нецбанд Майк
Ремельгадо Рубен
Хилл Стивен
Шонброт-Стит Сара

Университет Галле-Виттенберг

Хюнеке Ронья

WUEMoCA характеризуется:

- открытым онлайн-доступом; обзором пространственных и временных трендов в бассейне Аральского моря – общая картина;
- выявлением орошаемых территорий, требующих внимания; увязкой с показателями устойчивого развития ООН (ЦУР 2; 6); возможностью интеграции заданных пользователем объектов и статистических данных для расчета дополнительных показателей по воде; конфиденциальностью: закрытым характером данных и результатов дополнительных вычислений пользователя.

Каждый пользователь может иметь открытый исходный код для совершенствования инструмента (при его использовании в водохозяйственных организациях и университетах)

Обзор инструмента: назначение и функции

Результаты анализа WUEMoCA агрегируются на уровне всех орошаемых областей и районов бассейна Аральского моря. Для отдельных регионов результаты агрегируются также на уровне ассоциаций водопользователей, территорий (бассейновых) управлений ирригационных систем и подвешенных зон каналов.

Инструмент WUEMoCA (англ. Water Use Efficiency Monitor in Central Asia: Мониторинг эффективности водопользования в Центральной Азии) — это онлайн-инструмент оценки эффективности водопользования при орошении на территории бассейна Аральского моря (БАМ), разработанный на основе анализа данных дистанционного зондирования.

Для целей земле- и водопользования. Инструмент поддержки принятия решений позволяет выявлять проблемные территории: малопродуктивные земли, засушливые регионы с неэффективным водопользованием и т. д.

Использование показателей. Решения принимаются на основе показателей экономической эффективности и устойчивости, представленных тремя группами: землепользование, продуктивность и водопользование (табл.).

Интеграция геоданных. Инструмент комбинирует спутниковые данные (полученные с помощью фотоматрицы MODIS и откалиброванные по данным наземных наблюдений), климатические и статистические данные всей территории.

Оперативный мониторинг. Данные предоставляются за период, начиная с 2000 года. Автоматизированный процесс обработки данных состоит из непрерывной загрузки и обработки информации (классификация землепользования, эвапотранспирация, оценка урожайности и агрегирование по административным границам).

Гибкий выбор информации. Пользователь определяет выходные данные (карты, графики и таблицы) путем выбора территории, времени, показателей и видов культур в соответствии с поставленными целями.

Инструменты полигона пользователя. Пользователь может самостоятельно задавать интересующие его объекты (полигон пользователя отличается от административных единиц [поле, фермерские хозяйства, АВП]) и добавить их в группу данных для расчета дополнительных показателей, например, **продуктивности и эффективности орошения**. Конфиденциальные данные доступны только пользователю. Кроме того, полигон пользователя позволяет вручную корректировать неточности данных дистанционного зондирования.

Интеграция спутниковых данных и данных наземных наблюдений является основой новой базы показателей			
Показатель [ед. изм.]	Краткое описание	Инф. по культурам	Источник данных
Показатели землепользования			
Орошаемая площадь нетто [га]	Площади с ирригац. инф-рой, вкл. временно неиспольз. земли	-	●○○
Посевная площадь [га]	Площадь орош. земель, занятая под посевами с/х культур	да	●○○
Коэффициент использования земель [%]	Доля посевной площади от орош. площади нетто	да	●○○
Временно неисп. орош. земли [%]	Доля земель под паром от орошаемой площади нетто	-	●○○
Разнообразие культур [-]	Набор разных видов культур (территориально)	-	●○○
Многолетние показатели землепользования			
Частота неиспользования земель [-]	Среднее кол-во лет, во время которых земля не культивировалась	-	●○○
Оборот землепользования [-]	Среднее число чередований землепольз-я вкл. времен. неиспольз. земель	-	●○○
Основные виды землепользования [-]	Преобладающие виды землепользования, исходя из средней частоты	-	●○○
Показатели продуктивности			
Продукция растениеводства [т]	Оценка урожая культуры (урожайность культуры * посевная площадь)	да	●●○
Урожайность культур [т/га]	Оценка продукции растениеводства, собранной с га посевной пл-ди	да	●●○
Общая продуктивность [\$]	Общ. эконом. доход по культурам (урожай культур * цена на культуру)	да	●●●
Продуктивность на 1 га [\$/га]	Общий экономический доход по культурам с 1 га посевной площади	да	●●●
Продукция на ед-цу водопотр-я [кг/м ³]	Урожай культуры на 1 м ³ потребл. поверхн. воды	да	●●●
Продуктивность на ед-цу водопотр-я [\$/м ³]	Эконом. доход по культурам на 1 м ³ потреблен. поверх. воды	да	●●●
Удельная водоподача [м ³ /га]	Водозабор (+ грунтовые воды, осадки) на 1 га орош. площади нетто	-	○○●
Показатели эффективности водопользования			
Фактическая эвапотранспирация [мм] = ET _{act}	Объем воды, высвобождаемый в атмосферу за счет испарения и транспирации (фактическое потребление воды)	да	●●○
Водообеспеченность (ET) [-]	Показатель надлежащего обеспечения водой (ET _{act} на водопотр-е)	да	●●○
Продуктивность воды (ET) [кг/м ³]	Урожай культуры на 1 м ³ потребленной воды (ET _{act})	да	●●○
Эффективность орошения [-]	Коэффициент эффективности при подаче воды растениям и минимизации потерь воды (ET _{act} на водозабор)	-	●●●

Карты землепользования. Поскольку сенсор MODIS ежедневно записывает данные с поверхности Земли, он особенно полезен в работе с WUEMoCA. Сенсор предоставляет ежедневные данные о вегетационных условиях (индекс NDVI) в пиксельном размере 250 м на 250 м (~6,25 га). Фенологические кривые помогают обозначить классы культур и представляют собой типичный для NDVI временной ряд. Каждому типу культуры соответствует своя кривая.

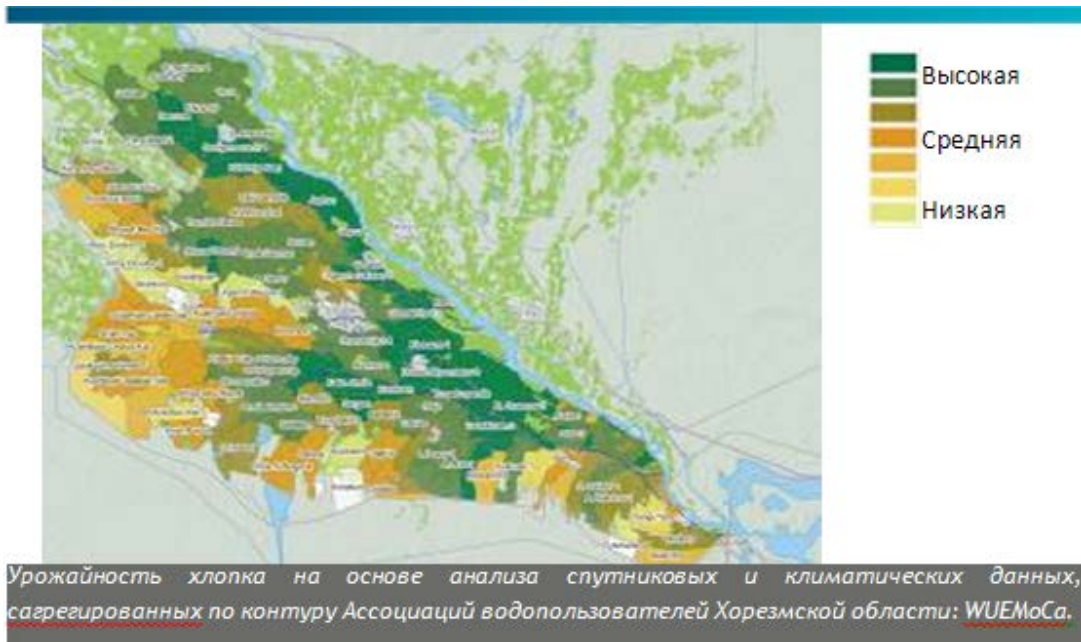
Урожайность. Для оценки роста хлопка, пшеницы и риса в инструменте применяется модель индекса эффективности использования света (LUE), хорошо известная точностью результатов. По этой модели, исходя из количества энергии, потребляемой культурой для фотосинтеза, высчитывается суточный прирост биомассы. В качестве входных параметров ис-

пользуются спутниковые данные о вегетационных условиях (индекс EVI) и метеоданные по радиации. Фактические суточные показатели эвапотранспирации помогают ввести фактор водного стресса культуры. Модель также учитывает тепловой стресс.

В модели урожайности региональные параметры культур отражают особенности окружающей среды региона бассейна Аральского моря (например, высоту над уровнем моря и климат). Фазы роста культуры рассматриваются с учётом градусо-дней. Итоговая сезонная биомасса преобразуется в показатель урожайности с помощью индексов урожая, обозначенных в документации.



Вегетационный индекс (NDVI), полученный путём анализа спутниковых данных: годовые кривые культур показывают типичный цикл роста пшеницы, хлопка и риса.



Моделирование эвапотранспирации. Упрощённый индекс расчёта фактической эвапотранспирации (S-SEBI) позволяет ежедневно отслеживать уровень потенциальной фактической эвапотранспирации (ET) для всех оросительных систем на территории бассейна Аральского моря. Алгоритм подходит для постоянных атмосферных условий заданной территории и определенной изменчивости гидрологических характеристик (условия влажности).

Модель работает только на основе данных дистанционного зондирования и метеоданных. WUEMoCA использует спутниковые данные MODIS, т.е. тепловые данные и данные об отражении солнечной радиации (альбедо). Метеоданные включают в себя радиацию, температуру, осадки, относительную влажность и коэффициент прозрачности атмосферы. Типы землепользования (орошаемые земли и площади под конкретными культурами) — третий набор входных данных. В модели урожайности WUEMoCA разница между потенциальной и фактической эвапотранспирацией означает уровень водного стресса для культуры.

Статистика: контроль качества и повышение качества данных

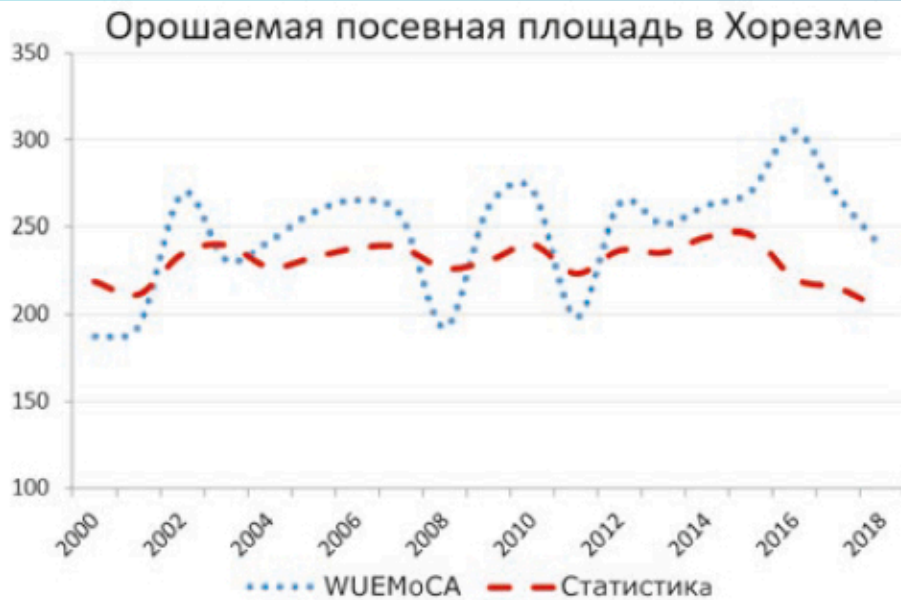
Сравнение

Для получения информации о качестве результатов дистанционного зондирования WUEMoCA предполагается их сопоставление со статистическими данными. Для проверки выбраны два показателя:

Орошаемая площадь нетто (ОПН) – «территория с оросительной инфраструктурой», в т. ч. неиспользуемые земли, т. е. временно без посевов и пригодные к орошению. Данный показатель (почти) не изменяется со временем.

Посевные площади – «орошаемые площади под посевами культур», т. е. используемые для выращивания определенной культуры, за исключением неиспользуемых земель. Земли, используемые одновременно для выращивания яровых и озимых культур учитываются дважды; годовые изменения отражает динамический показатель.

Результат анализа на основе дистанционного зондирования, здесь агрегирование по контурам области (из нац. источников).



WUEMoCA – результаты дистанционного зондирования

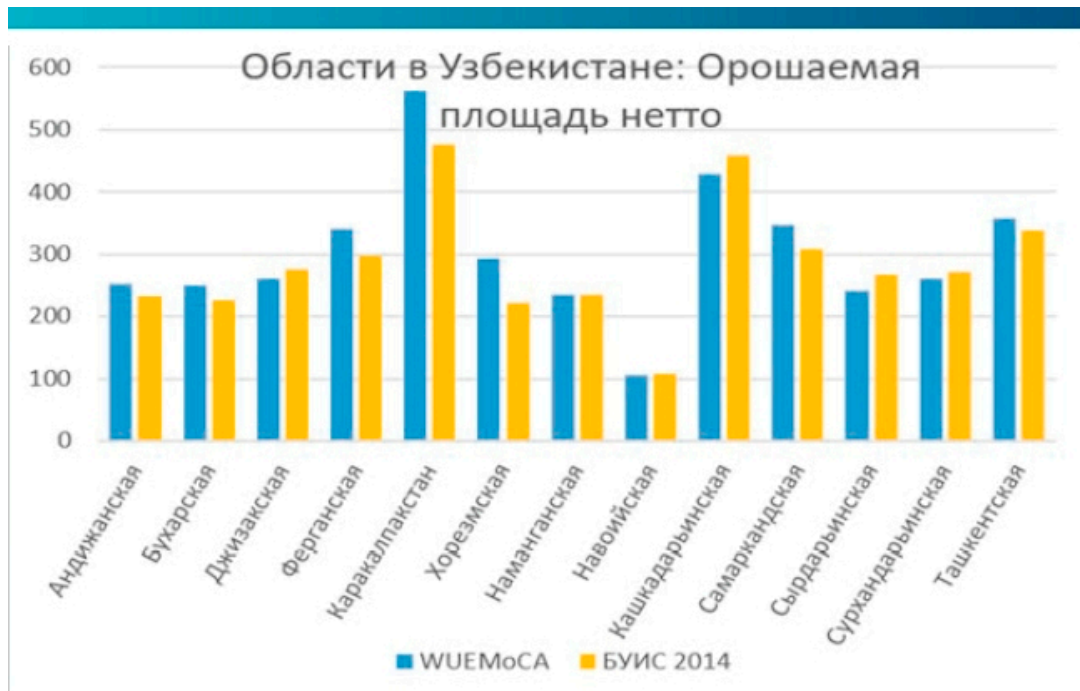
Статистика – официальная статистика по области из Госкомстата Узбекистана

Сравнение показывает колебания в интенсивности землепользования. Данные колебания обусловлены ежегодными изменениями в долях единожды (напр. хлопок) и повторно (напр. пшеница, за которой следует рис) засеянных полей, а также незасеянных полей (земли под паром).

Преимущество двух источников данных

Сравнение спутниковых данных с официальной статистикой помогает идентифицировать участки с заметными расхождениями и неточностями.

ми. Их причиной являются недоработанность методов и недостающие данные, как при дистанционном зондировании, так и ручном сборе данных. Возможные решения: спутниковые данные высокого разрешения и скоординированный сбор данных помогут избежать подобных погрешностей в будущем.



Сравнительный анализ орошаемой площади нетто (в тыс. га) по всем областям Узбекистана

WUEMoCA – результаты дистанционного зондирования

БУИС – официальные данные Бассейнового управления ирригационных систем

Сравнение показывает небольшие завышения и занижения оценок.

Определение погрешностей

Как в спутниковых данных, так и в официальной статистике выявляются большие погрешности:

Расчеты WUEMoCA выполняются на основе спутниковых снимков MODIS. Подобный способ картографирования особенно практичен для такой обширной территории, как бассейн Аральского моря. Однако существуют факторы, которые могут стать причиной некоторых неточностей в данных, поскольку размер пиксела MODIS около 6,25 га не отображает отдельное поле или кадастровую информацию. Более того, смешивание сельскохозяйственных и заболоченных территорий или ошибки в распознава-

нии городских сооружений могут привести к искажению данных по ОПН. Спектральная схожесть культур, например, риса и хлопка, также может привести к некорректному расчёту посевных площадей.

Официальная статистика напротив основывается на качественно других методах сбора информации от нескольких поставщиков данных (национальные водохозяйственные организации, фермерские отчёты, земельный кадастр, данные Госкомстата, БУИС/УИС). Более того, существует разница в толковании понятий типа «орошаемая площадь нетто». Это может помешать в расчёте показателей с использованием официальной статистики и ведет к несоответствиям в системе официальной отчётности.

В расчетах показателей WUEMoSA напрямую используются дополнительные статистические данные:

- данные по воде значительно расширяют систему показателей (напр. продуктивность воды, эффективность орошения);
- распределение культур используется для расширения ряда повторных культур, которые невозможно отследить с земной орбиты.

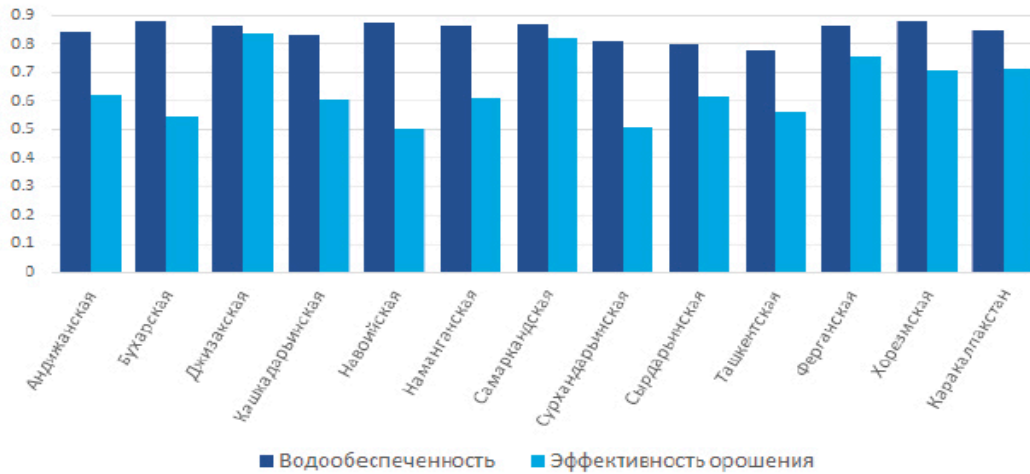
Инструмент в действии: оценка эффективности водопользования в Узбекистане

Минимизация потерь воды. Одной из задач эффективного водопользования является оптимизация работы оросительных систем за счет максимально возможного снижения потерь воды. Инструмент использует два показателя для мониторинга динамики уровня эффективного водопользования, причём в увязке с Целями устойчивого развития ООН:

Водообеспеченность – «показатель требуемого обеспечения водой для целей растениеводства». Соотношение объема воды, используемой для выращивания культуры (фактическая эвапотранспирация E_{Tact}), к требованиям культуры на воду (E_{Tcrop}) указывает на дефицит (< 1) или избыточное орошение (> 1).

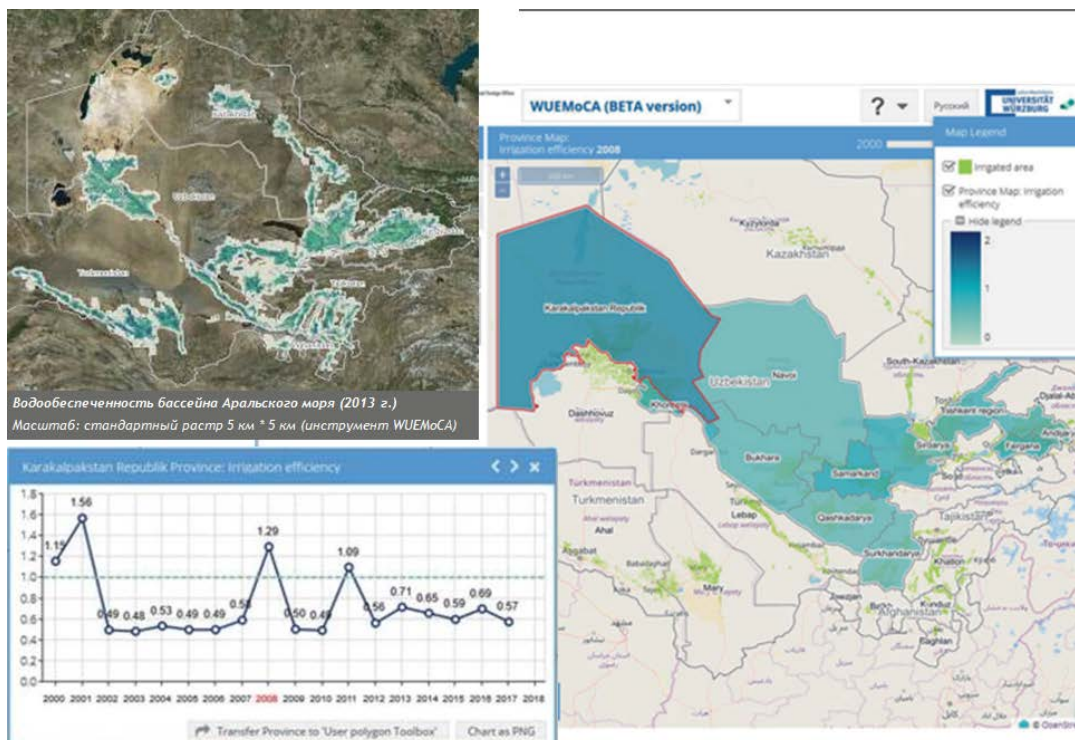
Эффективность орошения – «индекс эффективности подачи воды растениям и минимизации её потерь». Соотношение объема водопотребления (E_{Tact}) к объему поданной воды (статистический водозабор) указывает на потери воды.

Средняя эффективность водопользования по областям Узбекистана, 2000-2018 гг.



Водообеспеченность в сравнении с эффективностью орошения

Данные показатели рассчитаны для областей Узбекистана и усреднены в динамике. Для этого данные WUEMoCA по областям экспортируются в программу расчётных таблиц в формате Excel для дальнейшего анализа. Значительные различия указывают на области с высокими потерями воды



Карта эффективности орошения областей Узбекистана (интерфейс WUEMoCA)

Линейный график демонстрирует динамику по годам по Республике Каракалпакстан. Высокие значения эффективности орошения означают засушливые годы (например, 2001, 2008, 2011 гг.).

Анализ данных пользователя

Инструменты полигона пользователя: совместная разработка специалистов Германии и Узбекистана, которая расширяет возможности использования WUEMoSA в Центральной Азии и Афганистане

Зачем нужен инструмент полигона пользователя?

- Восполнение недостающих данных дополнительной статистикой
- Анализ конфиденциальных (гидрологических) данных без риска раскрытия
- Мониторинг эффективности орошения в течение сезона
- Дополнительный анализ на основе подробных отчётов
- Возможность добавления дополнительных функций (новые показатели, уточнённые формулы расчёта, дополнительные параметры и др.)

Функции инструментов полигона пользователя

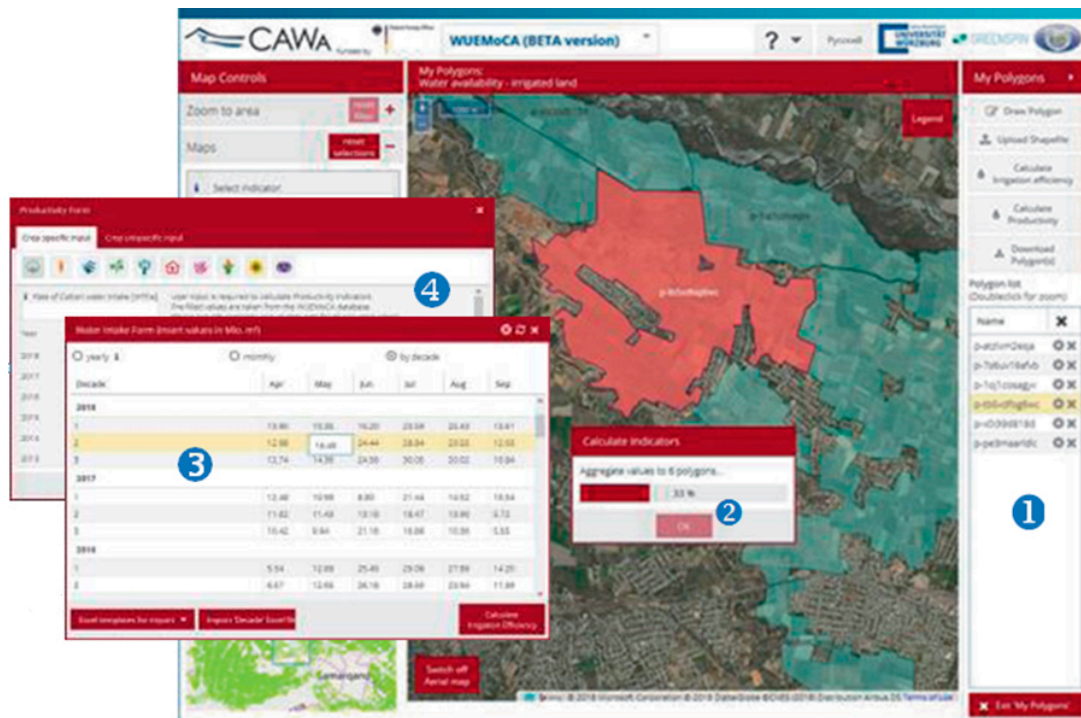
- Панель управления полигонами и инструментами
- Моментальная обработка всех показателей для пользовательских полигонов (любой объект)
- Инструмент расчёта эффективности орошения (форма ввода дополнительной статистики по воде)
- Инструмент расчёта продуктивности (с использованием доп. статистики по культурам, воде, ценам и урожаю)

Добавление объектов пользователя

WUEMoSA поддерживает добавление пользовательских контуров, например, зоны водопользования или планирования орошения. Все базовые показатели автоматически агрегируются до пользовательского полигона.

Расчёт дополнительных показателей

WUEMoSA позволяет создавать собственные показатели продуктивности культур и эффективности водопользования. Возможно создание дополнительных показателей как для уже доступных контуров, так и для пользовательских полигонов путём добавления статистических данных, необходимых для тех или иных зон. Все входные данные, основанные на дистанционном зондировании, в случае необходимости корректируются.



Интерфейс WUEMoCA с активированными инструментами полигона пользователя

	A	C	L	M	N	O	P	Q
1	name	year	etf_m4_1	vir_m4_1	wf_m4_1	etf_m4_2	vir_m4_2	wf_m4_2
2	Kattakurgan District	2000	26.852	1.03	9.14	31.416	1.05	10.51
3	Kattakurgan District	2001	26.56	1.11	8.38	24.86	0.91	9.64
4	Kattakurgan District	2002	28.269	0.68	14.52	25.454	0.54	16.7
5	Kattakurgan District	2003	28.419	0.7	14.31	19.868	0.42	16.46
6	Kattakurgan District	2004	22.887	0.53	15.28	39.814	0.8	17.58
7	Kattakurgan District	2005	34.328	0.8	15.12	37.653	0.76	17.4
8	Kattakurgan District	2006	28.502	0.74	13.45	35.629	0.81	15.47
9	Kattakurgan District	2007	33.673	0.81	14.56	35.137	0.74	16.76
10	Kattakurgan District	2008	22.549	0.75	10.53	31.09	0.9	12.12
11	Kattakurgan District	2009	22.382	0.54	14.53	27.105	0.57	16.72
12	Kattakurgan District	2010	27.782	0.67	14.55	34.105	0.72	16.73
13	Kattakurgan District	2011	27.887	0.88	11.12	30.584	0.84	12.8
14	Kattakurgan District	2012	33.333	0.67	17.43	40.71	0.71	20.05
15	Kattakurgan District	2013	36.909	0.95	13.7	36.391	0.81	15.81
16	Kattakurgan District	2014	27.973	0.79	12.48	32.794	0.99	11.62
17	Kattakurgan District	2015	30.222	0.76	13.9	33.288	0.9	12.98
18	Kattakurgan District	2016	22.181	1.46	5.34	32.621	1.75	6.57
19	Kattakurgan District	2017	30.362	0.86	12.48	40.966	1.24	11.62
20	Kattakurgan District	2018	31.812	0.83	13.9	30.028	0.84	12.98

Эффективность орошения выражается в виде отношения уровня водопотребления культурами (измеряется с помощью фактической эвапотранспирации E_{act}) к водоподаче (данные добавляются пользователем). Для отслеживания эффективности орошения любого участка, пользователь может вводить даже декадные данные по водоподаче. Декадные значения

ETact доступны в базе данных WUEMoCA и автоматически агрегируются до нужного полигона пользователя. После расчёта все входные параметры и результаты можно загрузить в формате таблицы Excel. На данный момент в виде графиков WUEMoCA отображает только годовые результаты.

От данных дистанционного зондирования до выработки обоснованных решений

Дефицит водных ресурсов на территории бассейна Аральского моря, постоянные нагрузки сельского хозяйства, рост населения и изменение климата сигнализируют о будущих конфликтах во всех секторах водопользования. Эффективная система орошаемого земледелия способствует стабильному развитию региона. Оптические данные дистанционного зондирования типа MODIS дают всю необходимую информацию для мониторинга орошаемых угодий на региональном и ландшафтном уровнях. Инструмент WUEMoCA предоставляет актуальные для сельского хозяйства пространственно-временные геоданные, тем самым способствуя эффективному планированию водопользования. В круг потенциальных пользователей входят лица, вырабатывающие политику, и советники на уровне правительств, лица, принимающие решения на трансграничном и региональном уровне, а также специалисты, занимающиеся анализом устойчивого управления земельными и водными ресурсами на базе геоинформационных технологий и дистанционного зондирования.

Области применения WUEMoCA

- Геоинформационный инструмент, который помогает специалистам в области земле - и водопользования понять, куда уходит речная вода, и использовать воду более эффективно и экономно
- Повышение информированности населения в вопросах экологии на политическом и общественном уровнях, напр.:
 - оценка рисков изменения климата и развитие стратегий адаптации к данным изменениям
 - защита и восстановление окружающей среды
 - Дополнительная помощь в принятии обоснованных решений и оказание поддержки в управлении
- Система сбора, анализа и распространения данных об окружающей среде всего бассейна Аральского моря

Использование дистанционного зондирования для сельскохозяйственного мониторинга

**Стулина Г.В., Кенжабаев Ш.М., Солодкий Г.Ф.,
Рузиев И.И.**

Научно-информационный центр МКВК

Использование космических снимков открывает новые возможности для мониторинга состояния полей. Программирование урожая, проводимое ранее [1], позволяло оценить вклад каждого фактора в выращивание сельскохозяйственных культур. Исходное плодородие земель, климатические условия создают потенциальную продуктивность полей. Однако, как было показано, в одинаковых базисных потенциальных условиях могут быть получены различные урожайности культур, что объясняется качеством управления агротехникой. Подход моделирования урожая выделяет управляемые агротехнические факторы с/х производства и позволяет сделать оценку потерь урожая в конце вегетации. Многие вопросы управления урожаем возможно решить уже в процессе вегетации, наблюдая за состоянием растений, используя дистанционное зондирование (ДЗ).

Одним из самых важных вопросов является обеспеченность культуры поливной водой.

В результате выполнения данной работы создан инструмент для получения оперативной информации по каждому полю в течение вегетации с использованием космических снимков MODIS с разрешением 250 м, Landsat с разрешением 30 м и информации базы данных WUEMoCA. Обеспеченность водой оценивается по соотношению ET_a/ET_c (ET_a – наблюдаемая эвапотранспирация, полученная путем анализа ДЗ, ET_c – расчетная эвапотранспирация).

Валидация предложенного метода проводилась на полях АВП «Октепа Зилол» Куштепинского района Ферганской области Узбекистана. Наземные наблюдения включали полный мониторинг агротехнических работ, в том числе, фактической водоподачи на полях, с целью выявить соответствие расчетной и фактической оценок.

Введение

Данная работа является частью комплексного исследования в бассейне Аральского моря, результатом которой явилось создание базы данных WUEMoCA, представляющая собой набор технологий, направленных на обеспечение онлайн инструмента эффективности водопользования на всех обширных массивах в бассейне Аральского моря. Основная цель – обеспечить информацию об урожайности основных культур, а именно хлопка, риса и пшеницы на основе свободно доступных данных дистанционного зондирования (Landsat 30 м, MODIS 250 м) и метеорологических данных (ECMWF), агрегированных на разных уровнях, от районов до зон планирования и областей. Однако, кроме того, в рамках данного проекта выполнялось развитие понятия программирования урожая, созданного ранее в [1] как факторная зависимость различных уровней продуктивности в зависимости от их обеспечения как природными ресурсами (климатическими, почвенными, гидрогеологическими, водными), так и организационно-хозяйственными (технологическими, людскими, механизмами). В последующих исследованиях по проектам CAWA, LAVACCA было показано, что целый ряд дистанционных измерений может быть использован в оценке как потерь урожая из-за отдельных факторов недообеспечения, так и определении резервов в приближении к потенциальной урожайности. С помощью этой части инструмента можно определить отрицательные тенденции в развитии растений уже в процессе вегетации.

Цель исследований

1. Мониторинг сельскохозяйственных полей с привлечением данных дистанционного зондирования с целью определения подходов к оперативному управлению технологией возделывания сельскохозяйственных культур.

2. Адаптация модели прогнозирования урожая WUEMoCA для условий Ферганской долины.

Задачи исследования для проверки достоверности дистанционных данных

1.1 Обследование территории, фиксация растительного покрытия.

1.2 Сбор данных для калибровки и тестирования в границах АВП.

1.3 Выбор тестовых участков.

1.4 Наблюдения за с/х растениями в течение вегетации на пилотных полях.

1.5 Анализ снимков Landsat и Modis с целью определения NDVI¹, ETa, ETc.

1.6 Фиксация агротехнических работ на пилотных полях.

1.7 Оценка фактической и расчетной эвапотранспирации.

1.8 Корреляционный анализ биофизических параметров космических снимков и наземных данных.

1. Объект исследований

Пилотным АВП для изучения вопроса возможности использования данных дистанционного зондирования с целью определения подходов к оперативному управлению технологией возделывания сельскохозяйственных культур выбрано хозяйство АВП Октепа Зилол. АВП Октепа Зилол расположена на территории Куштепинского района, Ферганской области. Общая площадь АВП составляет 1014 га, посевная площадь – 893,8 га, из них хлопок – 386 га, пшеница – 440 га, 67,8 га – прочие культуры. Всего в АВП организовано 24 фермерских хозяйства. Основное направление хозяйств – растениеводство, животноводством занимаются 2 фермерских хозяйства, садоводством – 9 фермерских хозяйств – 121 га. На официальной кадастровой карте АВП выделено 593 контура (рис. 1). В основном в АВП выращиваются хлопчатник и пшеница.

1.1. Пилотные поля

Для детального изучения технологического процесса выращивания основных культур, таких как хлопчатник и пшеница, а также повторных культур, определения исходных характеристик, мониторинга в течение вегетации 2017-2018 годов были выбраны 14 полей хлопчатника и 15 полей пшеницы.

Кадастровая информация расположения полей и размещение пилотных полей были оцифрованы и представлены в системе ГИС (рис. 1).

¹ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормализованный относительный индекс растительности — простой показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Этот индекс вычисляется по поглощению и отражению растениями лучей красной и ближней инфракрасной зоны спектра. Значения индекса для растительности лежат в диапазоне от 0,20 до 0,95. Чем лучше развита растительность во время вегетации, тем выше значение NDVI. Таким образом, NDVI – это индекс, по которому можно судить о развитии зеленой массы растений во время вегетации.

2. Методы исследования

2.1. Полевые исследования

В течение вегетационного периода проводилась фиксация агротехнических работ по специальным форматам, включающим информацию: сроки сева, сорт, норма семян, сроки внесения удобрений, средств защиты растений, их нормы внесения, нормы и сроки поливов, сроки уборки, урожайность культуры.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений проводились с целью установления влияния на них технологического процесса и увязки с ходом изменения NDVI.

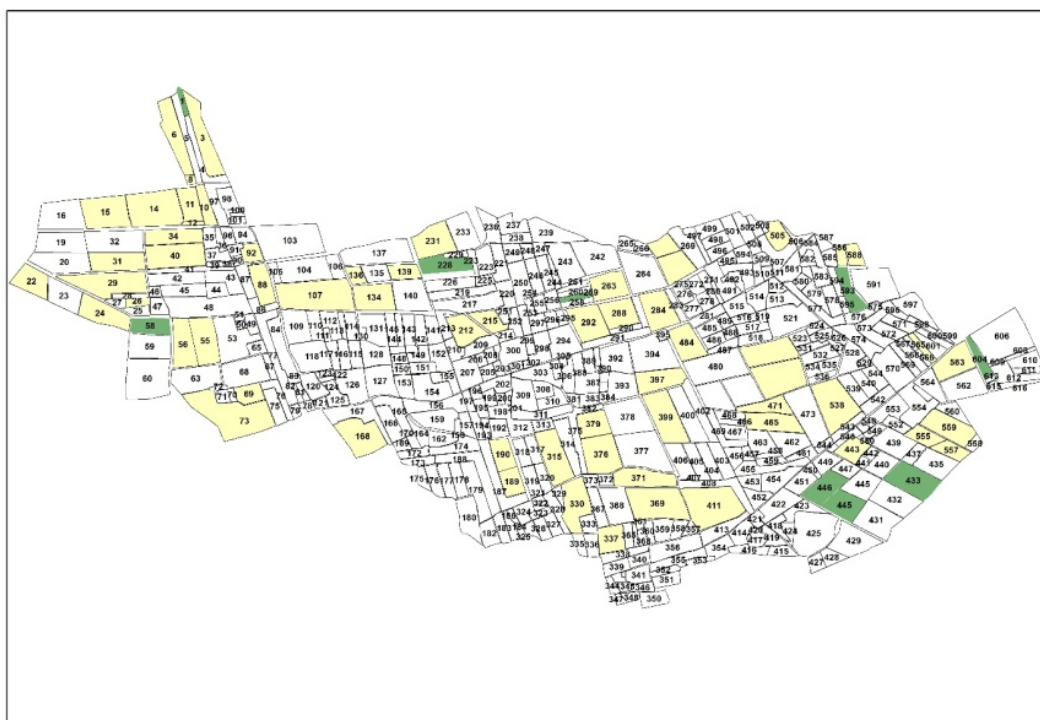


Рис. 1. Размещение контуров, кадастр

2.2. Методы исследования NDVI

Задача состояла в извлечении отражения по пшенице и по хлопку со спутниковых снимков Landsat. Для этой задачи мы использовали шейп-файлы границы АВП, кадастровую карту АВП и спутниковые снимки (рис. 2). Были недостатки по снимкам в начале 2018 года. Из-за густого облачного покрова этой зоны снимки не могли скачать за март и апрель.

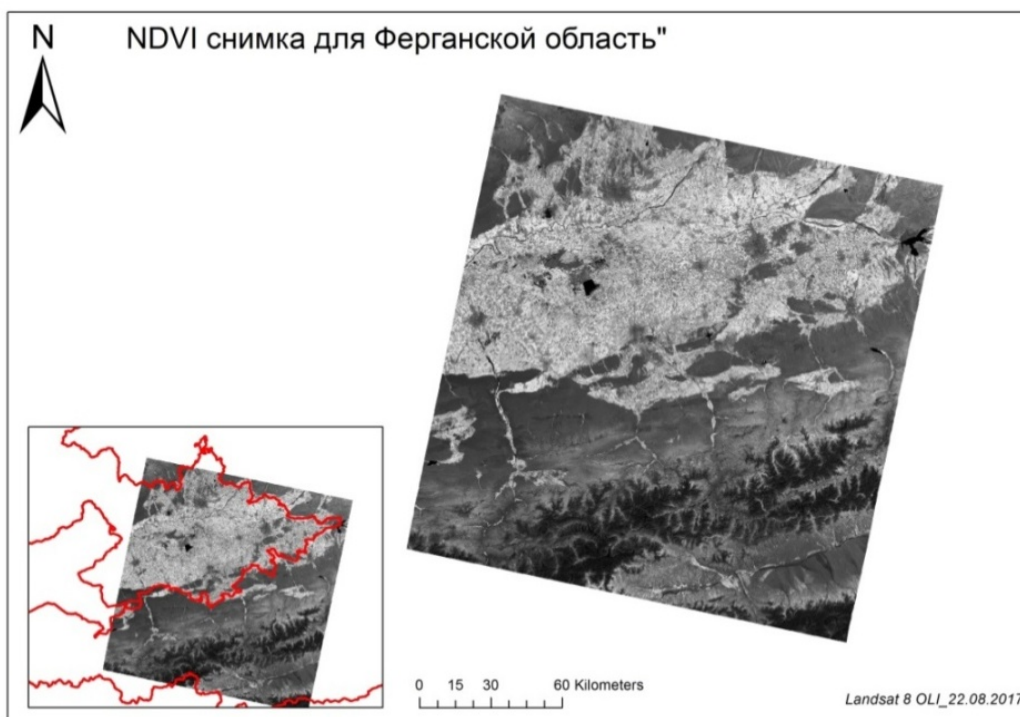


Рис. 2. NDVI на снимке, Ферганская долина

Снимки, которые получены с 22 августа 2017 г. по 8 июля 2018 г. для пшеницы и для хлопка с 5 мая по 12 октября 2018 г. позволяют проследить период вегетации пшеницы и хлопчатника от посева до сбора урожая. Для этой задачи выбраны наземные точки по каждому опытному участку. После этого проводилась проверка налаживания наземной точки (через GPS) в программе «Планета Земля» (Google Earth). После проверки, наземные точки наложили в Landsat NDVI снимки для построения фенологии культуры. Сопоставлением спутниковых снимков с кадастровыми данными извлечены контуры по двум участкам АВП по пшенице и хлопку. Кадастровые контурные карты по АВП «Октепа Зилол Чашмаси» получены в 2015 г. у Государственного предприятия по землеустройству и государственного кадастра Куштепинского района.

После наложения точки в программе ArcGIS 10.3 извлечены отражения пшеницы и хлопка по снимкам NDVI.

3. Результаты исследований

3.1. Технология возделывания сельхозкультур

На полях выполнялась общепринятая рекомендуемая технология возделывания сельскохозяйственных культур. Осенняя обработка под хлопчатник заключается во вспашке и планировке поля. В 2018 году сев хлопчатника проводился в основном в установленные сроки 5-10 апреля, однако на некоторых полях срок сева был поздним 16-21 апреля (табл. 1). На всех пилотных полях высевался районированный сорт Наманган-77. Сразу после сева введена практика внесения комплекса удобрений, состоящего из мочевины или карбамида, агро, суперфосфата и калийного удобрения. В течение вегетации проводится 3-4 культивации с внесением удобрений в виде аммиачной селитры, мотыжение после поливов, ручная прополка, ручной сбор. В 2017 году защита растений была в основном биологическая, использование габробракона и трихограммы, биопрепарата и это привело к массовому поражению растений в связи с некондиционным материалом. В 2018 году применялись химические средства против болезней и вредителей карате 0.3 л/га, нурелл 0.3-1.5 л/га, циперметрил 0.2-0.3 л/га

Норма внесения минеральных удобрений устанавливается для всех фермеров агрослужбой, за дополнительную плату фермер может получить дополнительное количество. Как правило, вносится 100 кг/га суперфосфата, до 300 кг/га аммиачной селитры, 100 кг/га мочевины и 10 кг/га калия.

Для борьбы с вредителями вносится против совки 1 раз из расчета 0.2 г/га, трихограмма против совки и коробочных червей с 5 разовым применением из расчета 1-2 г/га, сера против паутинного клеща из расчета 30 кг/га. Габробракон в период вегетации применяется из расчета по 500 шт/га. На полях проводился влагозарядковый полив нормой до 2000 м³ на га и 4 вегетационных полива нормами 900-1000 м³/га, оросительная норма составила по полям 800-5500 м³/га.

Пшеница высевалась в хлопчатник после проведения предпосевной культивации, в начале октября (6-19 октября) (табл. 1). Основной высеваемый сорт семян «Аср», однако кроме этого сорта на полях высевался сорт «Бобур», и «Нота». Норма высева 250-300 кг/га. Азотные удобрения вносились в виде мочевины в д.в. 250-350 кг/га азота, очень мало фосфора, максимум 25 кг/га и 30 кг/га калия д.в. Уборка осуществлялась комбайнами «Класс».

На 14 пилотных полях в качестве повторной культуры выращивалась кукуруза на силос. Посев на полях был выполнен после уборки пшеницы 29 июня - 12 июля, скашивание 2-27 октября. Скашивалась кукуруза на комбайне Морал. В течение вегетации проводились только вегетационные поливы оросительной нормой 2200-4500 м³/га. Поражения болезнями и вредителями не наблюдалась и борьбы с ними не проводилось. Из минеральных удобрений вносилась аммиачная селитра 100-250 кг/га, мочевины 100-250 кг/га. Урожай зеленой массы составил 10,1 т/га и 31,8 т/га.

Агротехнические мероприятия по всем полям фиксировались и вносились в форматы (табл. 1). Ниже приведены примеры собранной информации по культурам.

Таблица 1

Параметры технологии хлопчатника и пшеницы

№ пп	№ контура	Балл бонитета	Удобрения				Использование воды в поле		Средства защиты растений			Урожай т/га
			Дата	N	P	K	Дата полива	Норма полива м ³ /га	Дата обработки	Название	норма	
Параметры технологии хлопчатника												
Сорт семян - Наманган-77, норма семян 57 кг/га, дата сева 8.04.2018												
2	26	50	01-04.05.2018	56	12	-	12-16.07.2018	900	15.05.2018	ИСО	20 л/га	2.95
			14.05.2018	-	18	-	01-04.08.2018	900	25.05.2018	ИСО	20 л/га	
			06.06.2018	85	-	-	21-24.08.2018	800	15.06.2018	ИСО	20 л/га	
			26.06.2018	119	-	-		850	20.06.2018	Атилла	0.5 л/га	
									14.07.2018	Карате	0.5 л/га	
									10.08.2018	Нурелл	1.5 л/га	
						260	30			3450		

№ пп	№ контура	Балл бонитета	Удобрения				Использование воды в поле		Средства защиты растений			Урожай т/га
			Дата	N	P	K	Дата полива	Норма полива м ³ /га	Дата обработки	Название	норма	
Параметры технологии пшеницы												
Сорт семян – Аср, норма семян 263 кг/га, дата сева 7.10.2017												
4	63	54	18.02.2018	46	24.0	-	06-09.10.2017	1210	25.04.2018	Опус	0.2 кг/га	5.62
			05.03.2018	86	-	-	21-22.02.2018	920	08.05.2018	Дуазол	0.2 кг/га	
			09.04.2018	104.1	-	-	07-09.03.2018	860	20.05.2018	Далате	0.2 кг/га	
							12-14.04.2018	890				
							26-28.04.2018	900				
							17-18.05.2018	900				
							05-07.06.2018	700				
						236.1	24			6380		

Таблица 2

Изменение биомассы хлопчатника

№	05.май	21.май	06.июн	22.июн	08.июл	24.июл	09.авг	29.авг	10.сен	26.сен	12.окт
15	0.12	0.129	0.09	0.12	0.19	0.4658	0.4535	0.5128	0.523	0.2706	0.4216
31	0.08	0.11	0.08	0.13	0.226	0.4153	0.5136	0.5279	0.5394	0.2445	0.418
59	0.1	0.125	0.09	0.125	0.2	0.3696	0.5045	0.6633	0.6412	0.2912	0.3768
107	0.11	0.15	0.128	0.189	0.265	0.5445	0.6458	0.6897	0.6605	0.2631	0.4246
134	0.1	0.138	0.117	0.174	0.255	0.575	0.7143	0.699	0.6086	0.2485	0.3676
168	0.13	0.18	0.129	0.16	0.18	0.4637	0.5338	0.528	0.493	0.2421	0.4039
284	0.11	0.138	0.128	0.237	0.288	0.5714	0.5739	0.6748	0.6906	0.3111	0.4769
399	0.115	0.153	0.121	0.216	0.27	0.5716	0.6743	0.7208	0.6783	0.2111	0.352
484	0.1	0.14	0.119	0.158	0.249	0.5727	0.6564	0.6294	0.6373	0.257	0.4024
606	0.1	0.126	0.102	0.189	0.22	0.5184	0.6045	0.6125	0.5767	0.174	0.3202

3.2. Анализ NDVI

После извлечения отражения пшеницы и хлопчатника по каждому контуру составлена таблицы 2 и 3; на основе этих таблиц построены графики фенологии по пшенице и по хлопку.

3.2.1 Хлопчатник

Изменение биомассы хлопчатника на пилотных полях изображено на рис. 3 и табл. 2.

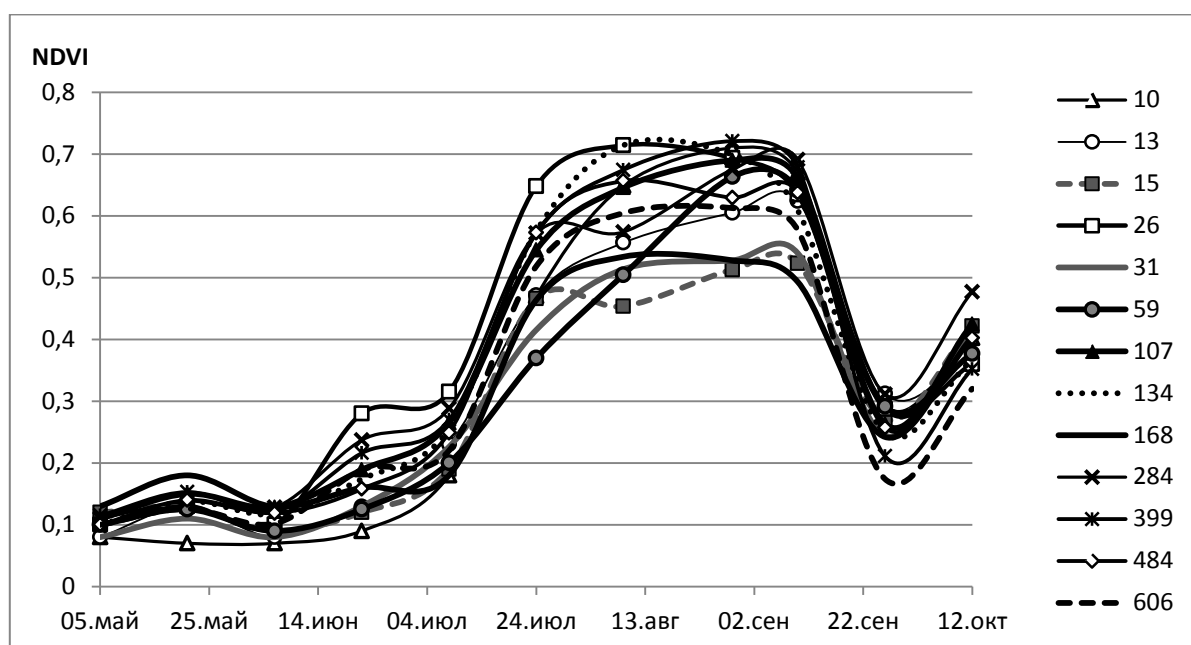


Рис. 3. Изменение биомассы хлопчатника по всем контурам

Качество снимков позволило фиксировать, обработать и проанализировать NDVI с мая месяца до конца вегетации.

Величины NDVI изменяются от 0.08-0.12 в мае до 0.52-0.71 в августе, сентябре. Сроки сева отразились на формировании биомассы в весенний период. Самый ранний срок сева 05.04.2018 был выполнен на контуре 168, самый поздний 17.04-21.04.2018 на контурах 606к и 59 соответственно.

Величина NDVI на 21 мая была наибольшая и равнялась 0.18, на общем графике это четко наблюдается (рис. 3).

Уборка проводилась на полях (табл.3) с середины сентября до конца сентября, в связи с чем, после этого срока величина NDVI резко снизилась в два раза от максимальных значений перед уборкой от 0.52-0.71 до 0.17-0.31 после в конце сентября.

Ход зависимости NDVI по датам зависит от особенностей роста и развития растений на отдельных контурах, исходного плодородия и качества выполненных технологических операций.

Наиболее благоприятные условия для развития хлопчатника были организованы в фермерском хозяйстве «Максудов Валижон ери» (контур 26). Были выполнены все агротехнические мероприятия соответственно технологической карте на фоне невысокого (50) балла бонитета.

Были внесены органические удобрения в виде навоза нормой 20-25 т/га на каждый гектар, и кроме того, в период вегетационных поливов в виде шарбатного полива также давалось по 5-10 т/га навоза. В результате получено 2,9 т/га хлопчатника. Фермерское хозяйство «Максудов Валижон ери» – единственное пилотное хозяйство в АВП, в котором был выполнен план сбора хлопчатника.

В хозяйстве было зафиксировано максимальное значение NDVI 0.71 9 августа и была проведена самая ранняя уборка хлопчатника 14-19 сентября.

График зависимости NDVI по датам в течение вегетации по контуру 26 в данном случае можно считать эталонным.

Нельзя сказать, что ход изменения NDVI абсолютно однозначен полученным результатам продуктивности хлопчатника, однако, во многом значения NDVI соответствуют полученным результатам урожая.

Кривые NDVI по контурам на графиках имеют свои особенности.

На контурах 15, 10, 59 получены низкие урожаи хлопчатника за счет большого количества сорняков, график NDVI имеет среднее расположение в семействе кривых (рис. 3 и табл. 4).

Таблица 3

Сроки сева и уборки хлопчатника

№ пп.	Ф/Х	Фермер	№ контура	Площадь, га	Срок сева	Срок уборки
1	Комилжон Курбонов саховати	Омон Курбонов	13	19.25	07.04.2018	22.09-28.10.2018
2	Максудов Валижон ери	Максудов Валижон	26	8.8	08-09.04.2018	20.09-25.10.2018
3	Нуриддин Таникулов	Дониёр Таникулов	134	7.6	07.04.2018	21.09-26.10.2018
4	Файзли Одил Махмуд	Содиков Бахриддин	10	8.7	09.04.2018	05-27.10.2018
5	Худойберганов Косим- жон ери	Обидов Ахмаджон	399	9.6	11.04.2018	29.09-22.10.2018
6	Щерзодбек	Тухлиев Бахтиёр	107	13.2	08-09.04.2018	25.09-20.10.2018
7	Ахмаджон Жасурбек келажаги	Норкузиев Эркинбой	168	8.5	05.04.2018	03-27.10.2018
8	Абдуллажон	Абдуллаев Собиржон	606	9.1	17.04.2018	26.09-20.10.2018
9	Азизбек Ойбек файз курки	Умурзаков Рустам	284	7.4	12.04.2018	25.09-30.10.2018
10	Дадажон	Чалабоев Комил	15	9.9	16.04.2018	18.09-30.10.2018
11	Пахлавон Гуломжон ери	Султонов Лочин	484	6.2	08.04.2018	22.09-25.10.2018
12	Улугбек, Илёсбек саховати	Охунов Улугбек	31	7	10.04.2018	02-29.10.2018
13	Баходир Мирзаев саховати	Мирзаев Баходир	59	9	21.04.2018	20.09-03.11.2018

Таблица 4

Описание особенностей полей хлопчатника

№ пп.	Ф/Х	Фермер	№ кон-тура	Пло-щадь, га	Урожай-ность ц/га	Примечание
1	Комилжон Курбонов саховати	Омон Курбонов	13	19.25	19.0	Причины низкого урожая: несвоевременное проведение влагозарядного полива перед посевом, т.к. из-за нехватки влаги в почве всходы были очень изреженные в густоте стояния. В целом в фермерском хозяйстве составляло 60-65 тыс/га растений. Это привело к резкому снижению урожая хлопчатника. Во-вторых, в период полива был дан неравномерный полив, вследствие чего растение не было обеспечено влагой.
2	Максудов Валижон ери	Максудов Валижон	26	8.8	29.3	В период вегетации хлопчатника все агротехнические мероприятия выполнены отлично, кроме нормы минеральных удобрений дополнительно было в виде шарбатного полива, дан навоз в норме 10-15 т/га, что привело к выполнению плана сдачи хлопка-сырца или в целом АВП Октепа Зилоли единственное фермерское хозяйство выполнивший план заготовки хлопка является этот фермер.
3	Нуриддин Таникулов	Дониёр Таникулов	134	7.6	24.5	На контуре 134 были некоторые упущения, т.к. из-за нехватки влаги в почве всходы были изреженные (густота 75-80 тыс.га), росли сорняки, хотя это поле дало самый высокий урожай.

№ пп.	Ф/Х	Фермер	№ кон-тура	Пло-щадь, га	Урожай-ность ц/га	Примечание
4	Файзли Одил Махмуд	Содиков Бахриддин	10	8.7	15.8	В этом фермерском хозяйстве особенно в чуле, где расположены земли (контуров 7, 8, 10) очень низкая агротехника, сорняки, очень изреженные всходы. Густота стояния составляет 45-51 тыс.га растений. Причина: перед посевом не было дан влагозарядковый полив из-за чего (почва засоленная) всходы были очень изреженные. В фермерском хозяйстве удобрение разбазаривается, несвоевременно вносится. В ф/х -ве нет дисциплины, поливы ведутся несвоевременно и не равномерно. В 2016, 2017 годах в этом фермерском хозяйстве с каждого гектара получено по 5, 6 ц/га хлопка.
5	Худой-берганов Косимжон ери	Обидов Ахмаджон	399	9.6	22.6	Фермерское хозяйство расположено в галечниковых землях. Нехватка воды, внесение малой дозы минеральных удобрений, отсутствие внесения навоза, севооборота привело к снижению урожая хлопка-сырца. Плодородный слой мало-мощный.
6	Щерзодбек	Тухлиев Бахтиёр	107	13.2	16.9	Земли фермерского хозяйства расположены вдоль Центральной дороги Маргелан-Коканд, поэтому на этих землях всегда строгий контроль. Несмотря на это проведены низкие агротехнические мероприятия, недополив, не внесен навоз, низкая густота стояния, недостаточно внесено удобрений. Основная причина: распространение коробочной черви, которые уничтожили почти 30-40 % урожая.
7	Ахмаджон Жасурбек келажоги	Норкузиев Эркинбой	168	8.5	19.3	Низкая агротехника, нехватка внесения минеральных удобрений и навоза и близость стояния грунтовых вод

№ пп.	Ф/Х	Фермер	№ кон-тура	Пло-щадь, га	Урожай-ность ц/га	Примечание
8	Абдуллажон	Абдуллаев Собиржон	606к	9.1	17.2	В этом поле в период вегетации хлопчатника мало внесены минеральные удобрения. Рост и развитие хлопчатника обеспечено за счет увеличения количества поливов. Также снижению урожая повлияли сельхозвредители. Особенно коробочные черви, уничтожившие почти 35-40 % урожая.
9	Азизбек Ойбек файз курки	Умурзаков Рустам	284	7.4	25.3	На опытном поле контур 284 - 7.4 га посевы произведены двухстрочные. Все агротехнические мероприятия выполнены своевременно. Поэтому комиссия проверяло карты, оно расположено вдоль дороги. Урожайность составляет по 25.4 ц/га. Это близко к плану (27 ц/га).
10	Дадажон	Чалабоев Комил	15	9.9	15.1	В фермерском хозяйстве контур 15 получено по 15.1 ц/га урожай хлопка. Надо отметить причины низкого урожая. Очень низкая (65-70 тыс.га) густота стояния, близость грунтовых вод, увеличение сельхозвредителей, массовое появление коробочной черви, недополив.
11	Пахлавон Гу-ломжон ери	Султонов Лочин	484	6.2	21.3	В опытном поле в среднем получено по 21.3 ц/га, план 26.8 ц/га. Причина: сельхозвредители, массовое распространение паутинного клеща, недополивы, в последующем коробочные черви.
12	Улугбек, Илёсбек сахо-вати	Охунов Улугбек	31	7	18.1	В контуре 31 получено по 18.1 ц/га. Причиной низкого урожая является низкое плодородие земель, внесение малого количества минеральных удобрений, засоренность поля, особенно распространение сельхозвредителей.

№ пп.	Ф/Х	Фермер	№ кон-тура	Пло-щадь, га	Урожай-ность ц/га	Примечание
13	Баходир Мирзаев саховати	Баходир Мирзаев	59	9	14.9	В контуре 59 (опытное поле) получено по 22.13 ц/га хлопка. Это наибольшая урожайность по сравнению с другими землями контура. Земли фермера непралированные, всходы изреженные. Густота стояния составляет 70-78 тыс.га, поэтому урожайность низкая.

Таблица 5

Изменение биомассы пшеницы

№	22.авг	07.сен	23.сен	09.окт	25.окт	10.ноя	28.ноя	05.май	21.май	06.июн	22.июн	08.июл
14	0.47	0.43	0.24	0.18	0.09	0.075	0.077	0.359	0.27	0.2	0.22	0.16
15	0.46	0.42	0.33	0.24	0.12	0.05	0.036	0.15	0.13	0.098	0.12	0.18
20	0.42	0.43	0.271	0.2	0.1	0.119	0.09	0.43	0.33	0.177	0.17	0.16
24	0.44	0.43	0.24	0.16	0.10	0.09	0.1	0.49	0.41	0.22	0.15	0.18
26	0.43	0.41	0.33	0.29	0.22	0.16	0.14	0.307	0.38	0.43	0.47	0.399
63	0.49	0.49	0.34	0.24	0.12	0.1	0.14	0.55	0.4	0.25	0.16	0.17
137	0.503	0.46	0.24	0.14	0.10	0.08	0.1	0.51	0.3	0.25	0.17	0.2
377	0.44	0.45	0.27	0.18	0.14	0.16	0.19	0.509	0.3	0.216	0.18	0.19
394	0.49	0.44	0.33	0.13	0.09	0.06	0.06	0.414	0.27	0.2	0.172	0.1
411	0.46	0.39	0.29	0.16	0.15	0.12	0.16	0.521	0.313	0.24	0.253	0.19
433	0.07	0.09	0.07	0.07	0.13	0.15	0.16	0.38	0.24	0.13	0.169	0.07
473	0.21	0.07	0.06	0.09	0.16	0.208	0.13	0.48	0.35	0.17	0.17	0.06
480	0.516	0.473	0.258	0.15	0.098	0.09	0.104	0.544	0.28	0.16	0.13	0.08
538	0.44	0.4	0.313	0.13	0.1	0.09	0.06	0.453	0.302	0.16	0.15	0.08

Таблица 6

Сроки сева и уборки озимой пшеницы

№ пп.	Ф/Х	Фермер	№ контура	Площадь, га	Срок сева	Срок уборки
1	Комилжон Курбонов саховати	Омон Курбонов	15	19.3	6-7.10.2017	16-19.06.2018
2	Максудов Валижон ери	Максудов Валижон	26	13.9	14.10.2017	22-23.06.2018
3	Нуриддин Таникулов	Дониёр Таникулов	137	10.3	09.10.2017	04.07.2018
4	Файзли Одил Махмуд	Содиков Бахриддин	18	10.4	17.10.2017	19.06.2018
5	Худойберганов Косимжон ери	Обидов Ахмаджон	411	7.5	12.10.2017	25.06.2018
6	Абдувохид Рустамов	Абдувохид Рустамов	473	9	07.10.2017	30.06.2018
7	Щерзодбек	Тухлиев Бахтиёр	63	7.6	05.10.2017	28.06.2018
8	Ахмаджон Жасурбек келажаги	Норкузиев Эркинбой	377	11.7	09.10.2017	28.06.2018
9	Абдуллажон	Абдуллаев Собиржон	538	10.9	10.10.2017	29.06.2018
10	Азизбек Ойбек файз курки	Умурзаков Рустам	480	10.5	12.10.2017	29.06.2018
11	Дадажон	Чалабоев Комил	14	12.9	18.10.2017	27.06.2018
12	Пахлавон Гуломжон ери	Султонов Лочин	394	9.9	06.10.2017	26.06.2018
13	Улугбек, Илёсбек саховати	Охунов Улугбек	20	7.9	13.10.2017	28.06.2018

№ пп.	Ф/Х	Фермер	№ контура	Площадь, га	Срок сева	Срок уборки
14	Баходир Мирзаев саховати	Баходир Мирзаев	24	7.5	18.10.2017	30.06.2018
15	Фахриддин хожи	Эминов Фарход	433	7.9	23.10.2017	21.06.2018

Наибольшая корреляция между NDVI и урожайностью получена для средних значений NDVI (рис.4), коэффициент корреляции $R^2 = 0.603$, меньше коррелирует с урожаем максимальное значение NDVI (рис. 5) с коэффициентом корреляции $R^2 = 0.4237$.

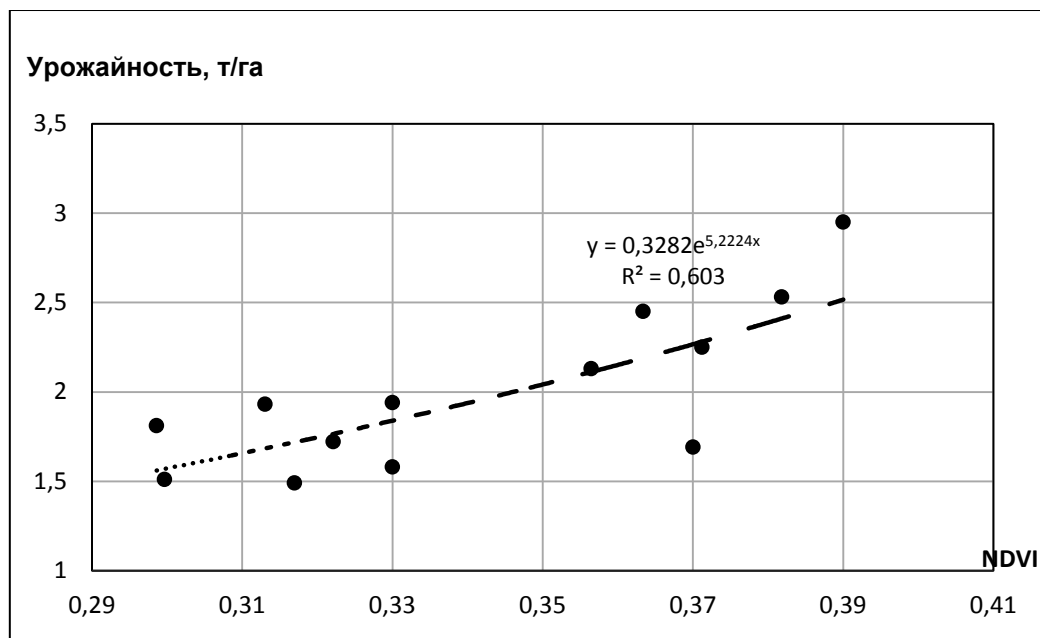


Рис. 4. Зависимость между урожайностью хлопчатника и средним значением NDVI

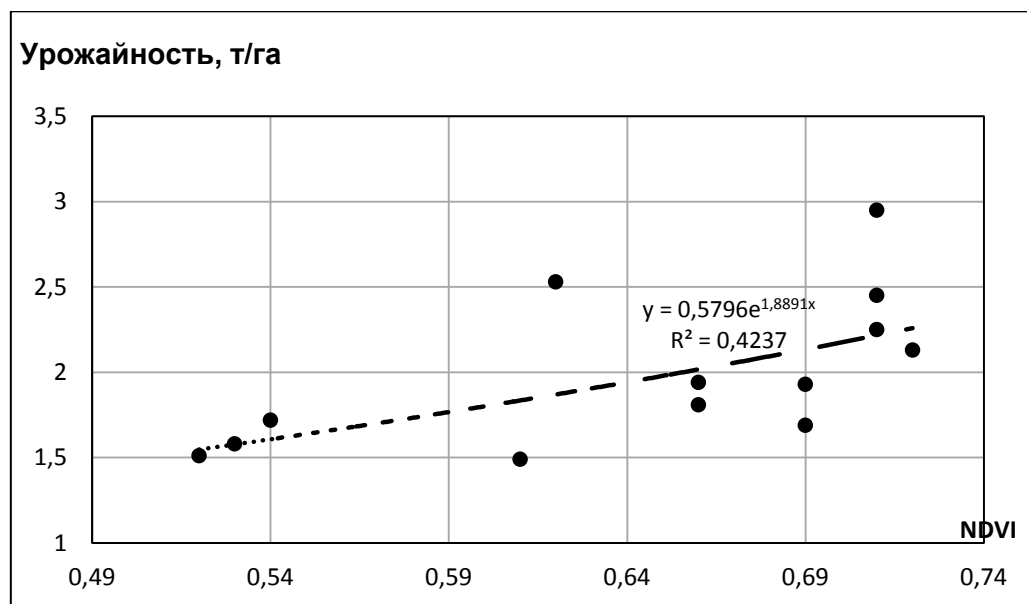


Рис. 5. Зависимость между урожайностью хлопчатника и максимальным значением NDVI

3.2.2 Пшеница озимая

Озимая пшеница высевается в хлопчатник в начале-середине ноября (табл. 6). В отчете приводятся кривые изменения NDVI в течение вегетации пшеницы от сентября 2017 года до уборки в июле 2018 года. Однако, нецелесообразно анализировать ход NDVI в осенне-зимний период, когда биомасса, отраженная на космических снимках, практически связана с биомассой хлопчатника (гузапая). К весне гузапая уже полностью с полей собирается.

Развитие озимой пшеницы начинается в марте-апреле, максимально биомасса формируется к началу мая (табл. 5, 6).

Созревание пшеницы происходит в течение июня.

По пилотным полям сроки уборки колеблются от ранней уборки 16-19.06.2018 до поздней 05-13.07.2018. Образование пика и резкое снижение значений NDVI пшеницы связано с её уборкой (табл. 6, рис. 6).

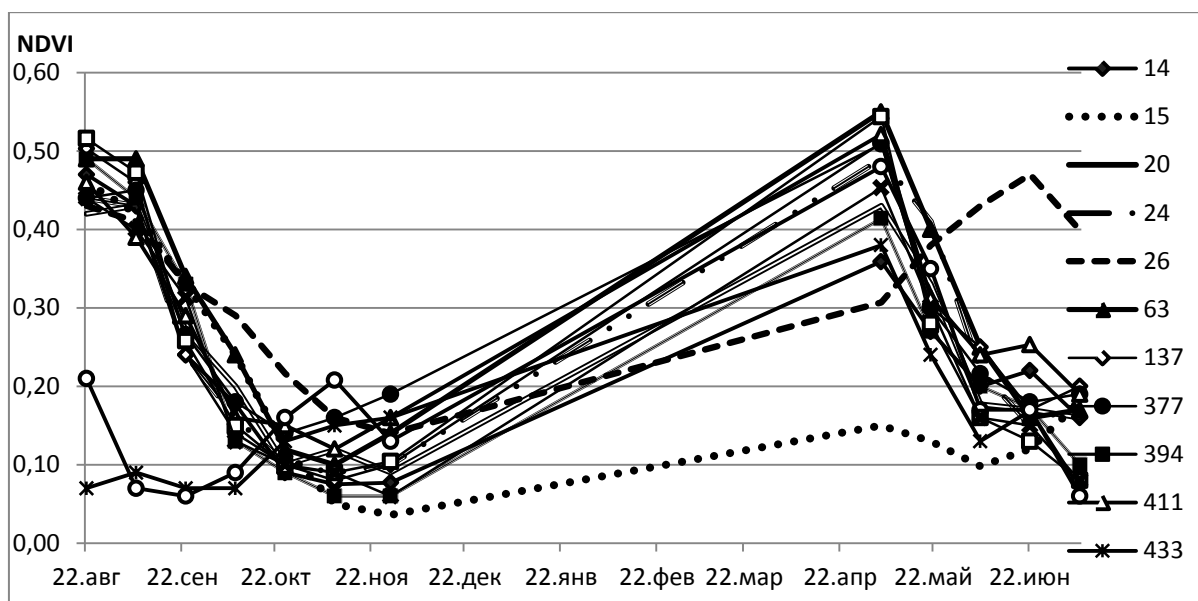


Рис. 6. Изменение биомассы пшеницы по всем контурам

Построенная зависимость между урожайностью пшеницы и NDVI показывает, что существует значительный разброс данных и не имеет статистически нормального распределения (рис. 7, 8).

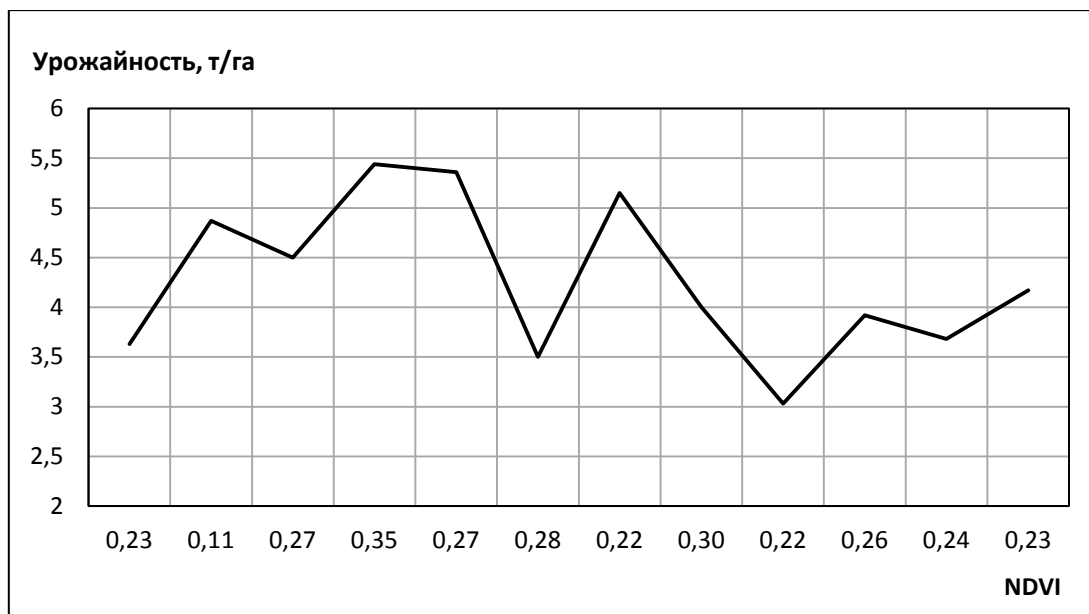


Рис. 7. Зависимость между урожайностью пшеницы и средними значениями NDVI

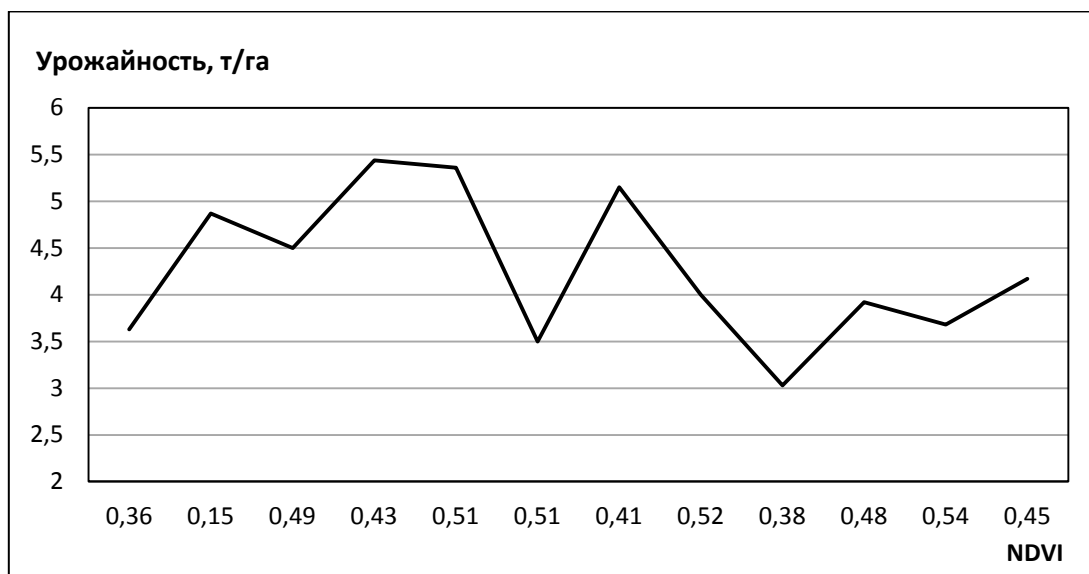


Рис. 8. Зависимость между урожайностью пшеницы и максимальными значениями NDVI

В этом случае корреляционная связь слабая, коэффициенты корреляции зависимостей между урожайностью пшеницы и средними и максимальными значениями NDVI составляют $R^2 = 0.0408$ и $R^2 = 0.002$.

После выбраковки данных для приближения их к нормальному распределению коэффициенты корреляции составили соответственно $R^2 = 0.3358$ и $R^2 = 0.137$ (рис. 9, 10).

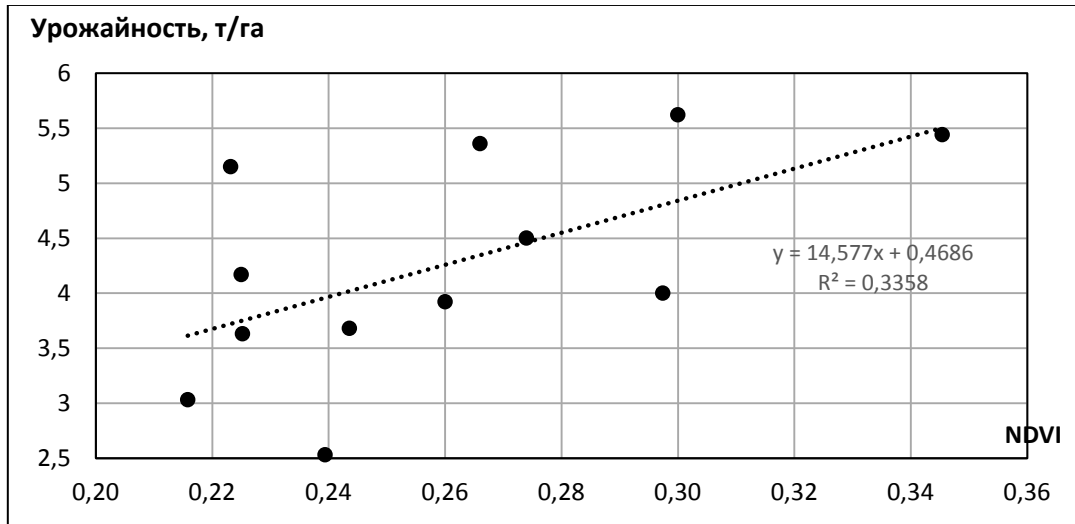


Рис. 9. Зависимость между урожайностью пшеницы и средними значениями NDVI после выбраковки

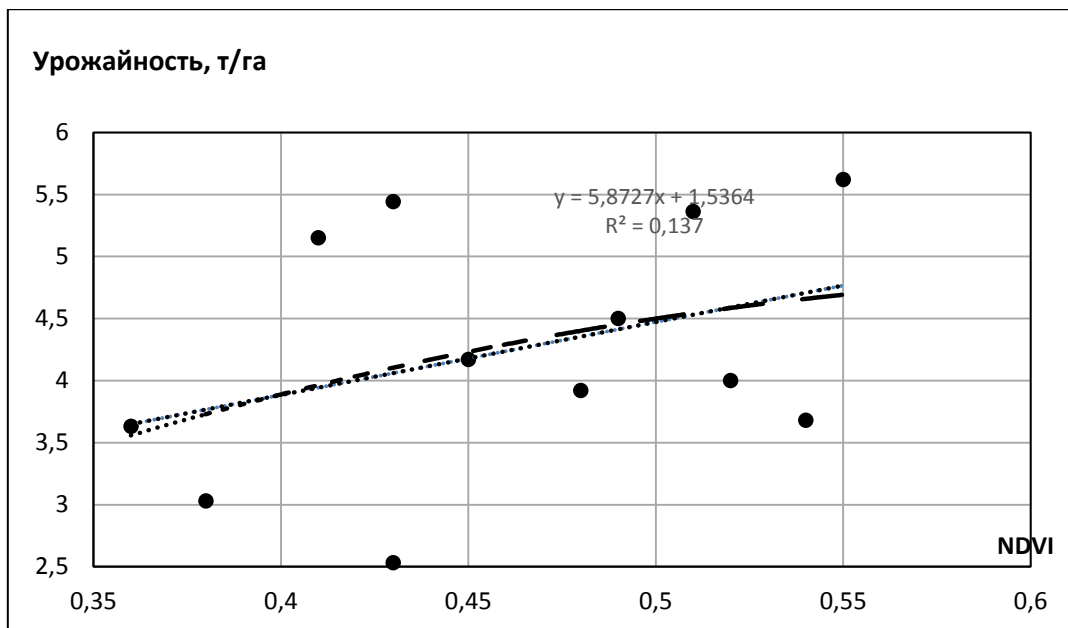


Рис.10. Зависимость между урожайностью пшеницы и максимальными значениями NDVI после выбраковки

Проведя анализ возможности оценки урожайности по показаниям NDVI, можно сказать, что такая возможность наиболее реальна для хлопчатника.

4. Результаты программы «R» по моделированию урожайности культур

Здесь мы использовали компьютерную программу «R» для выяснения факторов, влияющих на урожайность основных сельскохозяйственных культур - хлопка и пшеницы, с общей целью прояснить потери продуктивности земель и урожая с учетом колебаний биофизических величин и урожайности по пикселям и фермерским хозяйствам в широком диапазоне экологических условий (слоев). Для моделирования урожайности культур как функции измеренной поливной нормы, внесенного комплекса удобрений АФК, а также индекса вегетации, полученного на основе дистанционного зондирования, необходимы хорошо известные спектрально-биофизические зависимости. Поэтому на основе наилучших подходящих значений R^2 были выведены зависимости между сезонным (период роста культур) стандартизованным индексом различий растительного покрова (NDVI) и биофизическими величинами, в виде как линейных, так и нелинейных моделей (Thenkabail, 2003). Коэффициент корреляции Пирсона (R^2) для всех возможных пар спектрально-биофизических параметров рассчитывается при помощи программы «R».

4.1 Используемые данные

Для выведения зависимостей между спектрально-биофизическими характеристиками и урожайностью, необходимо извлечь значения индекса растительности (стандартизованного индекса различий растительного покрова, NDVI) из данных Landsat-8 OLI на основе пикселя одного участка в пределах каждого поля. Андерсон и др. (Anderson et al, 1993 г.) считают, что более предпочтительно сравнение данных по точкам выборки со значением индекса растительности, полученного для одного пикселя (900 м^2). Поэтому основной целью данного раздела является объединение NDVI точек для одного поля в единую сводную таблицу, которая включает биофизические параметры культур. Для этой цели были извлечены временные ряды NDVI для вегетационного периода хлопка и пшеницы при их наличии, например, при минимальном проценте облачности (до 10%). Для целей анализа данных NDVI, дата получения была указана в виде порядкового числа дня года (DoY), например, 22 августа 2018 года => 234. Временные ряды NDVI были агрегированы для получения средних значений (*ndvi_avg*). Данные, полученные от фермера по урожайности культур (*cryd*), были также усреднены по посевным полям (*crnm*). Кроме того, были просуммированы общие объемы полива и внесения азота для получения се-

зонной нормы орошения (*irri*) и азота (*nitr*). Использованные данные по хлопку и пшенице приведены соответственно в табл. 7 и 8.

4.2 Коэффициенты корреляции

Коэффициенты корреляции (R^2) для всех возможных пар спектрально-биофизических параметров хлопка и озимой пшеницы приведены в табл. 9 и 10. Среди всех спектрально-биофизических параметров внесенное количество азота (*nitr*) и NDVI в период с 6 июня по 9 августа 2018 г. (*ndvi157-ndvi221*) оказались наилучшими «предикторами» урожайности хлопка, на счет которых можно отнести разброс в 60-70% (табл. 9). При этом отрицательный R^2 (-0.4) обнаружен при корреляции *cryd* с общим объемом внесенного фосфора (*phos*). Объяснения данному явлению нет.

Обнаружена отрицательная корреляция между *cryd* и нормой внесения азота (*nitr*), а также объемом полива (*irri*) для озимой пшеницы (табл. 10). Это можно объяснить тем, что при повышении нормы внесения азота и чрезмерном поливе стебель растений становится слабым, а колосья мелкими. Поэтому *cryd* оказалась ниже на полях, которые больше поливались и удобрялись азотом, чем на полях, где нормы полива и внесения удобрений были ниже (см. табл.10).

Таблица 7

Спектрально-биофизические параметры хлопка, использованные в программе «R»

crnm	cryd	nitr	phos	pota	irri	ndvi1 25	ndvi1 41	ndvi1 57	ndvi1 73	ndvi1 89	ndvi20 5	ndvi2 21	ndvi2 41	ndvi2 53	ndvi2 69	ndvi2 85	ndvi_ avg
cot_15	1.51	146	87	30	5450	0.12	0.13	0.09	0.12	0.19	0.47	0.45	0.51	0.52	0.27	0.42	0.30
cot_31	1.81	183	39	30	4600	0.08	0.11	0.08	0.13	0.23	0.42	0.51	0.53	0.54	0.24	0.42	0.30
cot_59	1.49	200	75	30	3250	0.10	0.13	0.09	0.13	0.20	0.37	0.50	0.66	0.64	0.29	0.38	0.32
cot_107	1.69	213	45	30	850	0.11	0.15	0.13	0.19	0.27	0.54	0.65	0.69	0.66	0.26	0.42	0.37
cot_134	2.45	230	63	30	4850	0.10	0.14	0.12	0.17	0.26	0.58	0.71	0.70	0.61	0.25	0.37	0.36
cot_168	1.93	252	15	90	850	0.13	0.18	0.13	0.16	0.18	0.46	0.53	0.53	0.49	0.24	0.40	0.31
cot_284	2.53	267	42	30	3800	0.11	0.14	0.13	0.24	0.29	0.57	0.57	0.67	0.69	0.31	0.48	0.38
cot_399	2.25	192	30	30	2300	0.12	0.15	0.12	0.22	0.27	0.57	0.67	0.72	0.68	0.21	0.35	0.37
cot_484	2.13	222	36	45	4280	0.10	0.14	0.12	0.16	0.25	0.57	0.66	0.63	0.64	0.26	0.40	0.36
cot_606	1.72	118	54	30	2300	0.10	0.13	0.10	0.19	0.22	0.52	0.60	0.61	0.58	0.17	0.32	0.32

Таблица 8

Спектрально-биофизические параметры озимой пшеницы, использованные в программе «R»

nm	cryd	nitr	irri	ndvi2 34	ndvi2 50	ndvi2 66	ndvi2 82	ndvi2 98	ndvi3 14	ndvi3 62	ndvi0 21	ndvi1 25	ndvi1 41	ndvi1 57	ndvi1 73	ndvi1 89	ndvi_ avg
wht_14	3.63	267	5380	0.49	0.45	0.24	0.18	0.09	0.07	0.07	0.08	0.36	0.27	0.20	0.22	0.16	0.22
wht_15	4.87	226	5450	0.48	0.49	0.37	0.22	0.10	0.04	0.03	0.05	0.12	0.13	0.09	0.13	0.20	0.19
wht_18	5.4	258	5610	0.49	0.45	0.28	0.25	0.10	0.10	0.14	0.13	0.51	0.36	0.21	0.16	0.07	0.25
wht_20	2.53	261	6150	0.40	0.41	0.25	0.18	0.11	0.12	0.09	0.08	0.40	0.31	0.18	0.19	0.19	0.22
wht_24	4.5	259	5100	0.41	0.41	0.26	0.17	0.11	0.09	0.09	0.08	0.43	0.35	0.18	0.17	0.18	0.22
wht_26	5.44	246	5420	0.47	0.32	0.26	0.16	0.13	0.18	0.23	0.13	0.53	0.39	0.20	0.15	0.08	0.25
wht_63	5.62	236	6380	0.51	0.51	0.35	0.26	0.13	0.12	0.15	0.14	0.55	0.41	0.26	0.16	0.17	0.28
wht_137	5.36	246	5130	0.50	0.47	0.25	0.14	0.10	0.09	0.11	0.02	0.51	0.30	0.26	0.18	0.22	0.24
wht_377	3.5	335	6090	0.47	0.48	0.28	0.19	0.14	0.15	0.19	0.03	0.51	0.29	0.21	0.17	0.18	0.25
wht_394	5.15	265	5840	0.50	0.44	0.31	0.12	0.09	0.06	0.06	0.09	0.35	0.26	0.18	0.18	0.10	0.21
wht_411	4	276	5980	0.47	0.40	0.28	0.15	0.13	0.12	0.14	0.10	0.47	0.29	0.20	0.18	0.17	0.24
wht_433	3.03	278	6000	0.07	0.08	0.07	0.08	0.16	0.18	0.20	0.16	0.45	0.29	0.15	0.17	0.08	0.16
wht_473	3.92	264	6430	0.43	0.37	0.28	0.13	0.11	0.09	0.05	0.16	0.46	0.23	0.22	0.21	0.10	0.22
wht_480	3.68	247	6100	0.48	0.46	0.30	0.18	0.12	0.09	0.10	0.08	0.55	0.30	0.19	0.14	0.09	0.24
wht_538	4.17	265	6050	0.46	0.42	0.25	0.15	0.12	0.09	0.07	0.08	0.39	0.28	0.16	0.18	0.05	0.21

4.3 Многомерная регрессионная модель прогнозирования урожайности

Многомерная линейная модель прогнозирует значение зависимой непрерывной переменной от независимых переменных (Rencher & Schaalje, 2008). Общая многомерная линейная модель задается уравнением 4.1:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \varepsilon \quad (4.1)$$

где y - переменная отклика, x_i - независимые переменные, β_i - оценочные коэффициенты, и ε - остаточная величина, т.е. отклонение модели от y , которое не может быть отнесено за счет переменных x_i . Это статистическая величина, представляющая собой случайные колебания, ошибки измерений или влияние других неконтролируемых факторов. Эта модель была увязана с функцией `lm` в статистической программе R (Fox & Weisberg, 2011).

Из всех спектрально-биофизических параметров по хлопку и озимой пшенице внесенное количество азота (*nitr*) и объем полива (*irri*), а также средний индекс NDVI за весь период (*ndvi_avg*) использовались в качестве независимых переменных (регрессоров) для прогнозирования урожайности культур (*cyl*d).

Результирующая многомерная линейная модель прогнозирования урожайности хлопка и пшеницы приведена соответственно в уравнениях 4.2 и 4.3.

$$cnyd_{cotton} = 0.002943 * nitr + 0.0000697 * irri + 6.932 * ndvi_avg - 1.223 \quad (4.2)$$

Статистика для ур-я 4.2 приведена ниже:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.223e+00	9.399e-01	-1.301	0.2408
nitr	2.943e-03	2.144e-03	1.373	0.2189
irri	6.968e-05	5.182e-05	1.345	0.2274
ndvi_avg	6.932e+00	3.046e+00	2.276	0.0631

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2484 on 6 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.7048, Adjusted R-squared: 0.5572
F-statistic: 4.775 on 3 and 6 DF p-value: 0.04961

$$cryd_{wheat} = -0.01633 * nitr - 0.00071 * irri + 15.4668 * ndvi_avg + 9.2001 \quad (4.3)$$

Статистика для ур-я 4.3 приведена ниже:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	9.2001270	3.3077090	2.781	0.0179 *	
nitr	-0.0163319	0.0082310	-1.984	0.0727 .	
irri	-0.0007091	0.0004764	-1.489	0.1647	
ndvi_avg	15.4668322	6.8091369	2.271	0.0442 *	

Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.7352 on 11 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.5401, Adjusted R-squared: 0.4147
 F-statistic: 4.306 on 3 and 11 DF, p-value: 0.03074

На основе уравнений 4.2 и 4.3 была рассчитана урожайность (*cryd*) для каждого поля путем умножения соответствующих коэффициентов на независимые переменные (например, внесенное количество азота (*nitr*) и объем полива (*irri*), а также средний NDVI за период (*ndvi_avg*)). Сравнение фактически зафиксированной урожайности (Y_O) и спрогнозированной урожайности (Y_P) хлопка и озимой пшеницы приведено на рис. 11. Результаты показывают, что многомерная регрессия ($R^2=0,7$ для хлопка и $R^2=0,5$ для пшеницы) дополнила одномерную регрессию (табл. 9 и 10).

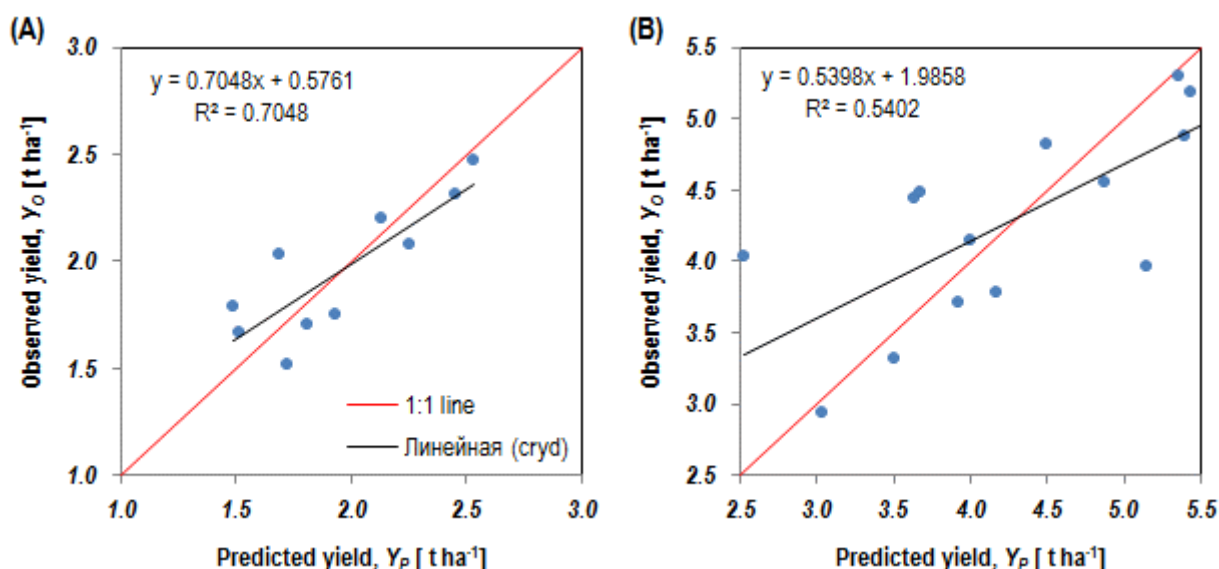


Рис 11. Сравнение фактически зафиксированной и спрогнозированной с помощью уравнений (4.2)-(4.3) урожайности хлопка (А) и озимой пшеницы (В)

Выводы

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

Парный регрессионный анализ показал заметную объяснительную силу NDVI, индекс, которому уделяется много внимания при биофизическом мониторинге культур в настоящее время. Однако биофизические параметры невозможно отобразить на карте в целом с помощью спектральных индексов. Парный регрессионный подход работал для s_{yud} против $ndvi$, но особенно для хлопка в середине роста или усреднял NDVI для всего сезона. В то же время, сравнительно низкие коэффициенты смешанной корреляции были найдены для озимой пшеницы. Применение данных дистанционного зондирования с точными полевыми измерениями может быть более многообещающим.

Многомерная модель линейной регрессии показала очень высокую объяснительную силу для прогноза s_{yud} . Результаты предполагают дальнейшие исследования многомерных оценок биофизических параметров в виду многообещающих выходов по сравнению с одномерными оценками s_{yud} с ограниченными данными. Тем не менее, поскольку исследование относилось к данным только 2017-2018 гг. (один сезон для хлопка и пшеницы) с ограниченными биофизическими параметрами ($nitr$ & $irri$), остается задача более детальных исследований по возможности переноса на другие года и выбора разных участков (в т.ч. методов).

Нашими предыдущими исследованиями было показано, что обеспеченность водными ресурсами возможно оценивать показателем E_{ta}/E_{Tc} . Такой подход был апробирован в масштабе областей и районов. Однако, для масштаба поля (контура), а также решения задачи мониторинга состояния поля в течение вегетации и принятия решений необходимы дальнейшие исследования, а именно доработки алгоритма пересчета пиксельного представления E_{Ta} в E_{Tc} каждого поля., использования снимков Sentinel-2 из семейства спутников дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства, предназначенного для мониторинга использования земель, растительности, лесных и водных ресурсов и имеющих разрешающую способность 10, 60 метров

Список литературы

1. В.А. Духовный, С.А. Нерозин, Г.В. Стулина, Г.Ф. Солодкий «Программирование урожая сельскохозяйственных культур» (системный подход в приложении к мелиорации)», НИЦ МКВК, Ташкент, 2015 г.
2. Anderson G.L., Hanson J.D., Haas R.H., 1993, Evaluating Landsat Thematic Mapper derived vegetation indices for estimating above ground biomass on semiarid rangelands. *Remote Sensing of Environment* 45, pp. 165-175.
3. Fox J., Weisberg S., 2011. *Multivariate Linear Models in R. An Appendix to An R Companion to Applied Regression, Second Edition.*
4. Rencher A., Schaalje B., 2008. *Linear models in statistics, Second edition.* John Wiley & Sons, Inc. Publication, p. 672.
5. Thenkabail P.S., 2003. Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing* 24, pp. 2879-2904.

Сопоставление данных WUEMoCA со статистическими данными по водным ресурсам и орошаемому земледелию

Сорокин Д.А.

Научно-информационный центр МКВК

В статье приводятся результаты исследований проекта SAWa по валидации данных – сравнению расчетных показателей, полученных на базе инструмента дистанционного зондирования WUEMoCA с показателями, основанными на статистических данных.

Валидация выполнена по данным 155 районов и областям Республики Узбекистан за 2000-2018 годы, с целью показать, что требования потенциальных пользователей WUEMoCA по показателям землепользования и использования водных ресурсов в орошении удовлетворяются, т.е. результаты дистанционного зондирования (ДЗ), соответствуют реальной водохозяйственной обстановке (имеют допустимые отклонения по ряду показателей).

Сравнение показателей землепользования выполнено на основе ДЗ (WUEMoCA) и статистики (статистические данные собраны и представлены Ш. Муминовым) по двум показателям:

1. Орошаемые земли нетто (Fir_n), тыс.га, - орошаемые земли, имеющие постоянную оросительную сеть, связанную с источниками орошения, водные ресурсы которых обеспечивают полив этих земель (без земель, занятых под каналы, гидротехнические сооружения, дороги и др.).

2. Посевные на орошаемых землях (Fir_f), тыс.га, - орошаемые земли, занятые под посевами сельскохозяйственных культур в отчетном периоде, включая повторные культуры (площади которых приплюсовываются к площадям основных культур).

Результаты валидации показателей землепользования

1. Отклонение данных WUEMoCA от статистики по посевным площадям на орошаемых землях (dFir_f) в 2015 году составило 12 %, в 2006 году – уже 5.8 %, в 2017 году – 8.4 % и в 2018 году – 2.5 %. Таким образом, виден заметный тренд на снижение данного показателя, что может свидетельствовать об улучшении точности дистанционного зондирования посредством инструмента WUEMoCA. В таблице 1 приводятся осреднен-

ные за 2000-2018 гг. данные посевных площадей WUEMoCA в сравнении со статистикой и с данными Минводхоза Республики Узбекистан (полученных от Бассейновых управлений).

2. WUEMoCA показывает неравномерное распределение показателя Fir_f не только по времени, но и по территории Республики Узбекистан.

3. Превышение величин Fir_n (орошаемые земли) над Fir_f (посевные на орошаемых землях) WUEMoCA свидетельствует о наличии (потенциале) неиспользуемых орошаемых земель. За последние 5 лет по данным WUEMoCA превышение ($dFir = Fir_n - Fir_f$) изменялось от 9 до 25 %. Возможные причины: низкая обеспеченность водой орошаемых земель, и низкая эффективность использования водных ресурсов (большие потери от водозабора на границе района до поля). В таблице 2 приводятся данные о неиспользуемых орошаемых землях Республики Узбекистан за 2015 – 2017 годы. Статистические данные в целом дают меньшие значения неиспользуемых земель, чем данные WUEMoCA, хотя есть года (например, 2016 год), где данные статистики превышают данные WUEMoCA.

Таблица 1

Сравнение посевных площадей на орошаемых землях Республики Узбекистан по разным источникам, в среднем за 2000-2018 гг

Орошаемая площадь, Fir_n , млн.га	Посевные на орошаемых землях, Fir_f , млн.га		
	WUEMoCA А	Данные БУИС	Статистика
4.2	3.2	3.4	3.5

Таблица 2

Неиспользуемые орошаемые земли Республики Узбекистан, как разница между орошаемой площадью и посевами на орошаемых землях ($Fir_n - Fir_f$)

Год	Ед. изм.	WUEMoCA	Статистика
2015	млн.га	0.8	0.3
	%	19	7
2016	млн.га	0.4	0.6
	%	10	14
2017	млн.га	1.0	0.7
	%	24	17

**Сравнение орошаемых и посевных земель
по областям бассейна реки Сырдарья за 2018 год**

Область	Кол-во районов	Статистическая информация	Расчетная информация WUEMoCA	Отклонение от статистики, %	Статистическая информация	Расчетная информация WUEMoCA	Отклонение от статистики, %
		Орошаемая площадь, тыс. га			Посевная площадь, тыс. га		
Андижанская	14	217,2	213,3	-1,8	239,1	242,6	1,5
Джизакская	12	230,1	199,7	-13,2	269,2	216,2	-19,7
Наманганская	11	200,7	187,9	-6,4	221,3	218,9	-1,1
Сырдарьинская	8	214	186,9	-12,7	208,6	203,5	-2,4
Ташкентская	14	280,5	271,2	-3,3	300,6	334,4	11,2
Ферганская	16	307,7	295,7	-3,9	295	339,8	15,2
min		200,7	186,9	-13,2	208,6	203,5	-19,7
max		307,7	295,7	-1,8	300,6	339,8	15,2
avr		241,7	225,8	-6,9	255,6	259,2	0,8
sum	75	1450,2	1354,7	-6,6	1533,8	1555,4	1,4

На рисунках 1 и 2 приводится динамика посевных площадей на орошаемых землях двух регионов Узбекистана, расположенных в разных бассейнах и течениях рек: в низовьях реки Амударья и в Ферганской области Республики Узбекистан (бассейн реки Сырдарья). Данные приводятся за период с 2000 по 2018 годы, в сравнении WUEMoCA со статистикой. В целом, значения посевных площадей по данным WUEMoCA превышают значения посевных по данным статистики (например, отклонение данных по Ферганской области составляет в среднем 4 %). В тоже время существуют года, когда статистические данные превышают данные WUEMoCA. Обращает на себя внимание тот факт, что в особо маловодные годы (2000, 2001, 2008 гг) по данным WUEMoCA размеры неиспользуемых земель были выше, чем они зафиксированы в статистических сборниках.

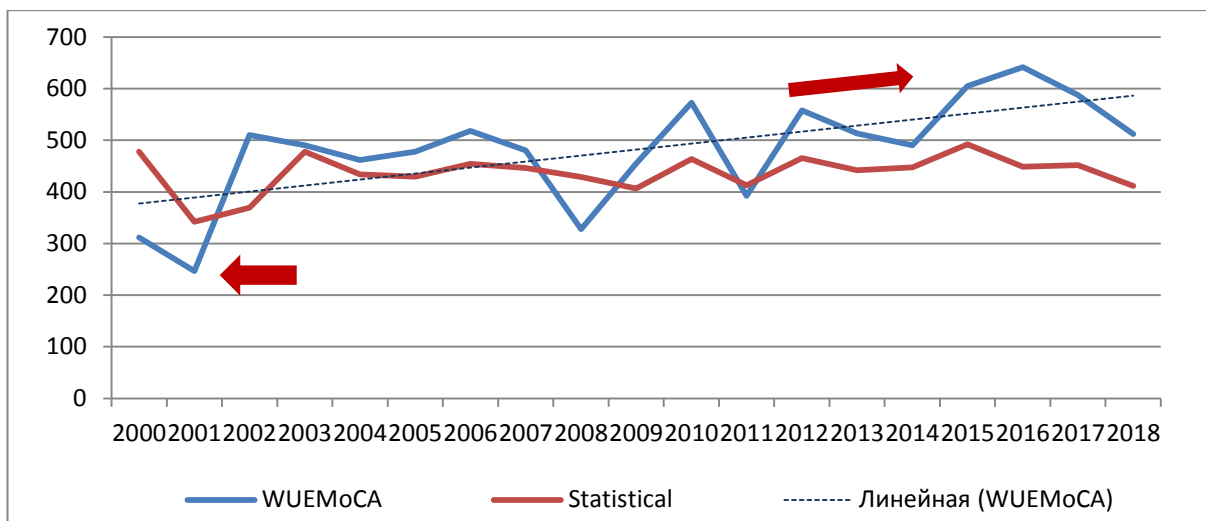


Рис. 1. Динамика посевных площадей (Fig_n) на орошаемых землях нижнего течения Амударьи (Хорезмская область Республики Узбекистан и Каракалпакстан) за 2000-2018 гг, в сравнении данных WUEMoCA и статистики, тыс. га

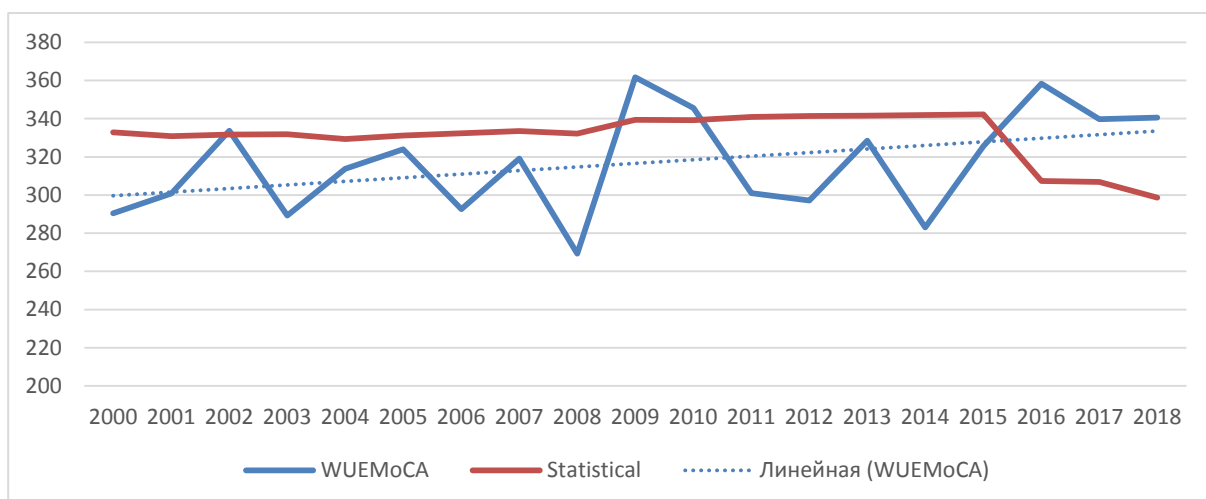


Рис. 2. Динамика посевных площадей (Fig_n) на орошаемых землях Ферганской области Республики Узбекистан за 2000-2018 гг, в сравнении данных WUEMoCA и статистики, тыс. га

Валидация данных водного сектора

Для выполнения валидации по показателям водного сектора были собраны и проанализированы данные по объемам водозабора на нужды орошаемого земледелия в вегетационные периоды (апрель-сентябрь) по 154 районам Республики Узбекистан (данные собраны И.Эргашевым).

Данные проанализированы на наличие возможных ошибок, уточнены (при нахождении ошибок), и включены в БД для дальнейшего использования в WUEMoCA, в частности, для расчета показателя эффективности использования оросительной воды. Показатель эффективности можно выразить отношением количества воды, которую используют растения к суммарному объему воды, подаваемому на орошение в контур (оросительной системы, района, области), а также приходящей в виде осадков и подпитки из грунтовых вод:

$$E_{Ta} * F_{ir_n} / (W + O + G) \quad (1)$$

Где:

E_{Ta} – фактическая эвапотранспирация, полученная после обработки данных ДЗ алгоритмами WUEMoCA (м),

W – объем водозабора на орошение (м³),

F_{ir_n} - орошаемая площадь (м²),

O – объем осадков, выпавших в контур орошаемых земель (м³),

$O = F_{ir_n} * I$,

I – средняя величина осадков (м),

G – объем подпитки из грунтовых вод сельскохозяйственных растений - расчет по эмпирической формуле Лактаева-Хардченко (м³),

По упрощенной формуле (примененной в WUEMoCA):

$$E_{Ta} * F_{ir_n} / W \quad (2)$$

Для отдельных районов, где значения расчетного показателя эффективности вызвали сомнение, исходная информация перепроверялась и при необходимости корректировалась. Например, в одном из районов Джизакской области в отдельные годы показатель эффективности превысил единицу, т.е. в районе было использовано больше воды, чем поступило. Была выявлена причина такого несоответствия – в данных по водозабору отсутствовала информация по местным источникам водных ресурсов. После исправления (увеличения объемов водозабора), показатель эффективности стал меньше единицы.

На рисунках 3 и 4 приводится динамика водозабора Республики Узбекистан из рек бассейнов Амударьи и Сырдарьи в вегетационные периоды (апрель-сентябрь) 2000-2016 гг. Обращает на себя внимание маловодье в бассейне Амударьи 2001, 2008 и 2011 годов: значительное падение объемов

водозабора именно в нижнем течении, на фоне незначительного снижения водозабора в эти годы на остальной территории.

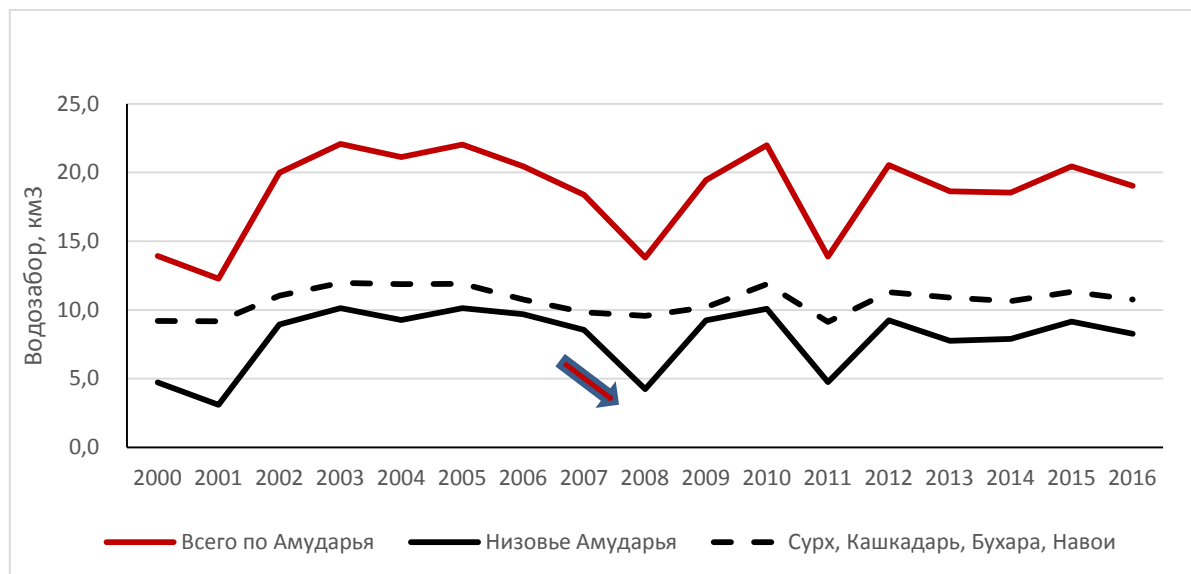


Рис. 3. Динамика водозабора Республики Узбекистан из рек бассейна Амударьи в вегетационные периоды (апрель - сентябрь) 2000-2016 гг.

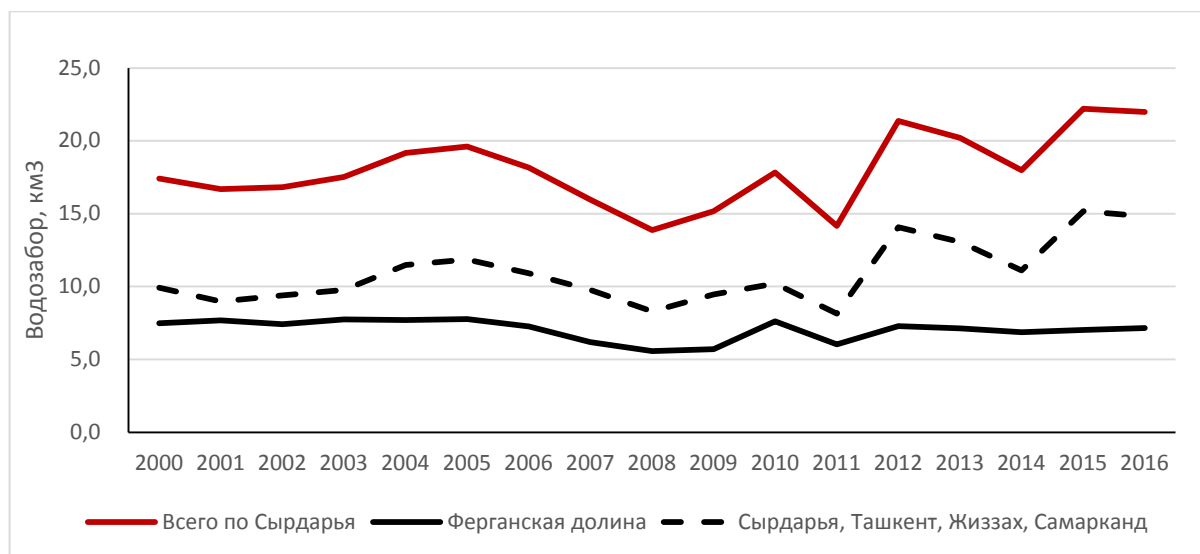


Рис. 4. Динамика водозабора Республики Узбекистан из рек бассейна Сырдарьи в вегетационные периоды (апрель-сентябрь) 2000-2016 гг.

В таблице 3 для Хорезмской области, по данным 2016 года приведены показатели эффективности, в сравнении: полученные по WUEMoSA и рассчитанные по упрощенной формуле (2) на фактических данных; там же приводится осредненная величина коэффициента полезного действия (КПД) системы орошения для данной области (информация Минводхоза Республики Узбекистан, предоставленная И. Эргашевым).

Таблица 3

**Сравнение показателей эффективности использования
оросительной воды ($E_{Ta} * Fir_n / W$) и КПД для Хорезмской области
Республики Узбекистан, 2016 г.**

№	Источник данных	Показатель эффективности	КПД
1	WUEMoCA	0.68	
2	Расчет НИЦ МКВК	0.63	
3	Отклонение $100 * [(1)-(2)] / (1)$	7 %	
4	Минводхоз РУз		0.61

Как видно из таблицы 3, разница в расчетах НИЦ МКВК и данных WUEMoCA по показателю эффективности составляет 7 %. Данные WUEMoCA показывают более благоприятную ситуацию в эффективности использования оросительной воды в вегетацию, чем расчеты НИЦ МКВК.

Показатели эффективности (рассчитанный для вегетационного периода) и КПД нельзя сравнивать, поскольку показатель эффективности рассчитан для вегетационного периода, а КПД характеризует годовую эффективность. В тоже время оба этих показателя характеризуют потери оросительной воды: чем ниже их значения, тем выше потери воды.

Заключение

Первоначально, WUEMoCA задумывался как инструмент, демонстрирующий возможности спутников по определению орошаемых площадей, засеянных с/х культурами, и оценки урожайности с/х культур – хлопчатника, пшеницы и риса. Перед командой НИЦ МКВК была поставлена задача информационного обеспечения проекта и его приближения к интересам пользователей. Поэтому мы провели ряд опросов и семинаров, и вышли с предложением расширить возможности WUEMoCA – включить в него “водный фактор”, и возможности самого пользователя вводить свои данные. Для этого нашими специалистами и программистами был разработан “Полигон пользователя”, позволяющий оценивать эффективность и продуктивность использования водных и земельных ресурсов на основе обработки спутниковых данных и фактических данных, вводимых самим пользователем (очерчивание объекта исследований на карте, ввод статистической информации).

Для того, чтобы оценить эффективность использования водных ресурсов в орошаемом контуре (например, в очерченном пользователем контуре крупной оросительной системы, или в районе, области) недостаточно иметь данные по эвапотранспирации (ЕТа), необходимо знать, а сколько воды поступает в орошаемый контур (район, область). Как это можно определить? Спутник может зафиксировать динамику площади водной поверхности водотока, и если у вас есть надежные морфометрические зависимости, вы можете рассчитать сколько течет воды по водотоку. Но такая возможность в WUEMoSA не предусматривается. Поэтому водный фактор (т.е. объем водозабора в контур орошения) в WUEMoSA вводится пользователем, но только, если он использует инструмент “Полигон пользователя”.

Выполненная валидация показывает, что индикаторы WUEMoSA, показывая существующие тенденции в землепользовании и эффективности использования оросительной воды, могут быть улучшены посредством: дальнейшего совершенствования алгоритмов WUEMoSA, применения для площадей меньшего размера спутниковых снимков лучшего разрешения (например, не Modis, а Landsat), а также детальной проверки полноты и достоверности статистических данных. Решающую роль в дальнейшем совершенствовании WUEMoSA этих направлений может играть инструмент “Полигон пользователя”.

Открытые мультиспектральные данные и основные методы дистанционного зондирования в изучении растительного покрова

Зайтов Ш., Солодкий Г.

Научно-информационный центр МКВК

Введение

Анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – перспективный метод изучения растительного покрова (Xie et al., 2008; Nomolova et al., 2013). Космические снимки отличаются от всех других пространственных данных (топографических карт, лесоустроительных карт и др.)

разнообразием информации, которую можно получить на их основе, большей доступностью и актуальностью за счет регулярности обновления. Они незаменимы как основа для экстраполяции данных в региональных и глобальных исследованиях, а также в случаях, когда необходимо проследить изменение свойств растительного покрова во времени (Рассказов, Галаганова, 2014), в мониторинговых исследованиях и при анализе угроз (Пузаченко и др., 2011, Gavier-Pizarro et al., 2012; Nagendra et al., 2013; Petrou et al., 2015; Chen et al., 2015; Turner et al., 2015;). Как следствие, в последние годы появляется все больше исследований растительного покрова и его отдельных свойств на основе данных дистанционного зондирования. Космические снимки заняли свое законное место в изучении лесных сообществ, широко применяются для изучения водной и околосводной растительности, растительного покрова болот (Klemas, 2011; Антипин, Токарев, 2012; Gallant, 2015), высокогорий и тундр. Активно развиваются методы оценки биологического разнообразия (Kuenzer et al., 2014; Leitão et al., 2015) и распространения отдельных видов, как правило, редких (Cord et al., 2014 и др.) или инвазивных с привлечением ДЗЗ.

Длительное время и по настоящий момент в сельском хозяйстве используются снимки спутников серии **Landsat**. По этим снимкам наработаны многочисленные технологии коррекции значений пикселей с целью минимизации влияния атмосферных явлений на качество снимков. Кроме

того, в состав снимка входят дополнительно два канала рассчитанных вегетационных индексов – NDVI и SAVI.

Landsat 8 — американский спутник ДЗЗ, выведенный на орбиту 11 февраля 2013 года, в рамках программы Landsat, поддерживаемой совместно Геологической службой США (USGS) и Национальным Аэрокосмическим Агентством (NASA). Данные Landsat используются в качестве исходного материала для мониторинга и исследований земных покровов в региональном масштабе (рис.1).

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Рис. 1. Технические характеристики Landsat 8

Вместе с тем, в свободном доступе появились снимки спутников серии Sentinel. Эти снимки более перспективны в силу большей разрешающей способности и более частых по времени снимков. Однако, снимки Sentinel требуют дополнительной обработки – проведения атмосферной и радиометрической коррекции, радиометрической калибровки снимков и пр.

Sentinel 2A — спутник, выведенный на орбиту 23 июня 2015 г. в рамках программы Copernicus Европейским космическим агентством (ESA). Sentinel-2A оснащен оптико-электронным мультиспектральным сенсором, который выполняет съёмку в 13 спектральных каналах от видимого и ближнего инфракрасного до коротковолнового инфракрасного диапазона спектра (рис.2).

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Рисунок 2. Технические характеристики Sentinel 2

Снимки Sentinel 2 по сравнению со снимками Landsat 8 имеют следующие преимущества:

1. Спутниковые снимки Sentinel 2 имеют большее разрешение 10x10м, чем Landsat который имеют разрешения 30x30 метр. Это дает возможность с большей точностью оконтурить относительно небольшие объекты

2. Временное разрешение у Sentinel 2 каждый 5 дней, а у Landsat 16 дней. При удачных погодных условиях можно использовать снимки для мониторинга вегетации посевов.

Спутниковые снимки Sentinel 2A приближают к решению оперативных задач по контролю за состоянием посевов и раннему оповещению фермеров о возникающих угрозах.

Методика исследования

Для сравнения результатов использования снимков Landsat 8 и Sentinel 2A был применен следующий задачи:

1. Выбрать объект исследования, который находящееся в Ферганской области.

2. В объекте исследования выделить 20 полей хлопчатника и 20 полей пшеницы.

3. В пределах каждого поля по каждому пикселю получить значения NDVI.

В качестве объекта исследований была выбрана АВП «Актепа Зилол Чашмаси» (рис. 3). Для построения динамики NDVI и для классификации хлопчатника и пшеницы в 2019 году, мы выбрали 11 снимков Landsat 8 OLI и 14 снимков Sentinel 2A.

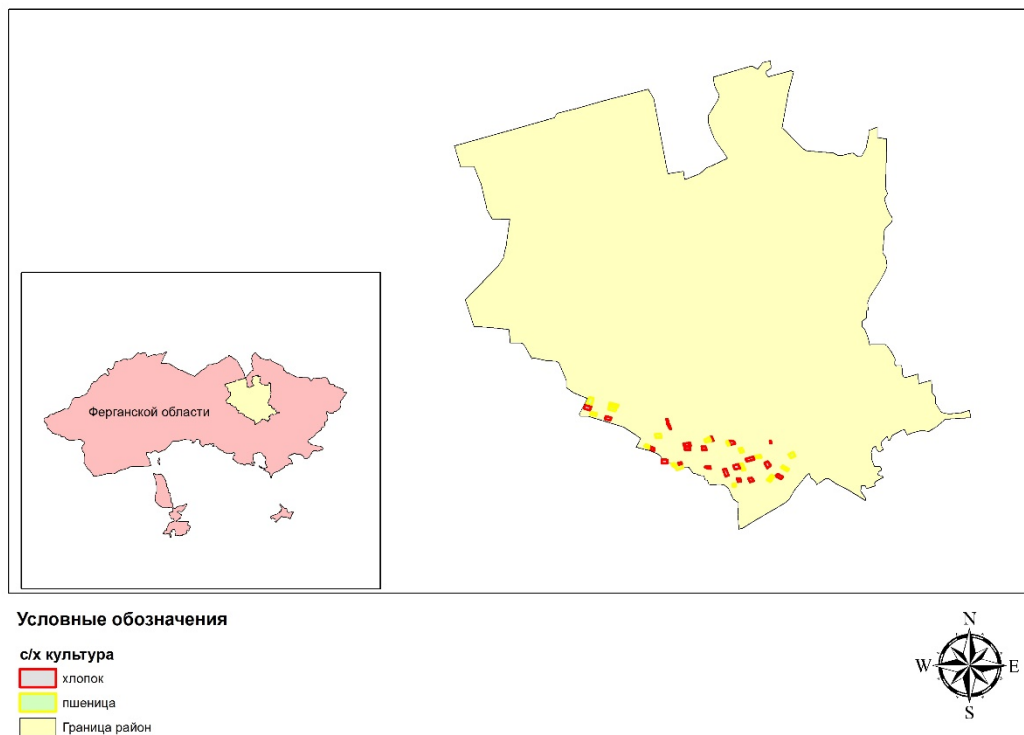


Рис. 3. Зона исследования АВП «Актепа Зилол Чашмаси»

NDVI вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

где

NIR - отражение в ближней инфракрасной области спектра

RED - отражение в красной области спектра

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Перед классификацией мы сделали проверку точек для повышения точности. Здесь мы использовали значения NDVI для каждого пикселя. Таким образом, нами проверено около 23 000 точек. По Landsat 8 проверено более 3000 точек по каждому пикселю. По Sentinel 2A проверено около 19 500 точек по пикселю (рис. 4).

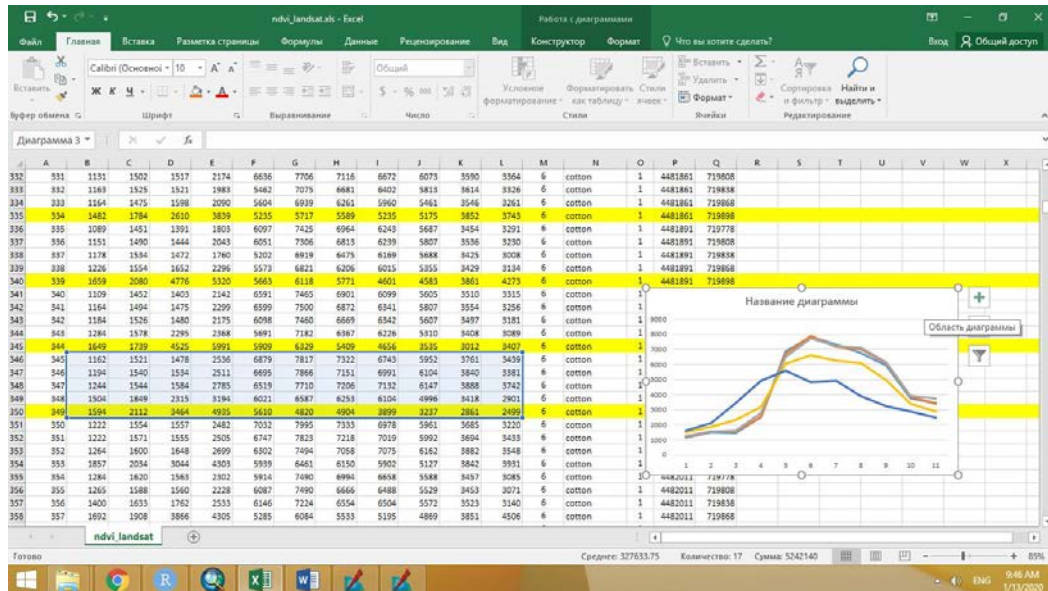


Рис. 4. Проверка перед классификацией

После проверки мы построили график фенологии по культурам.

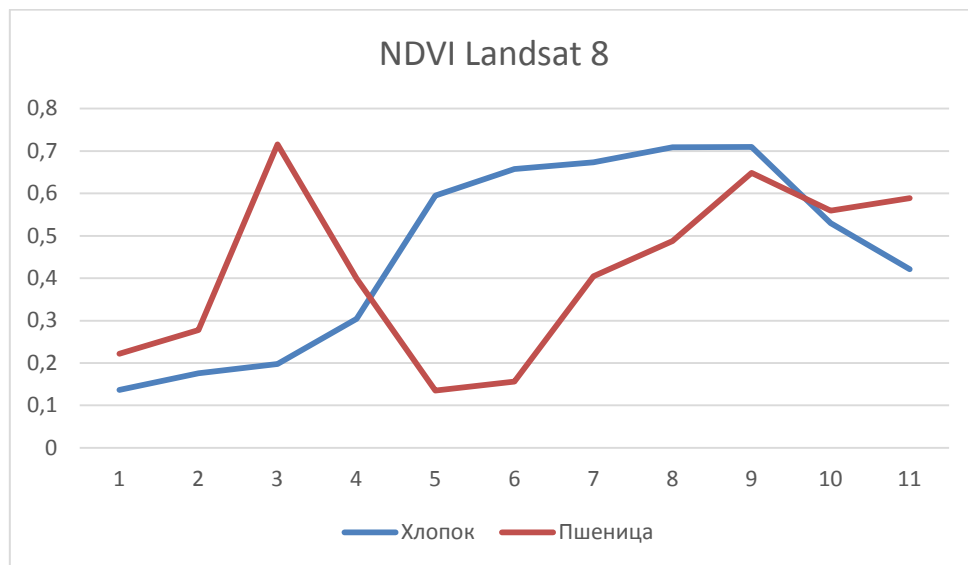


Рис. 5. Индекс растительности NDVI по Landsat 8

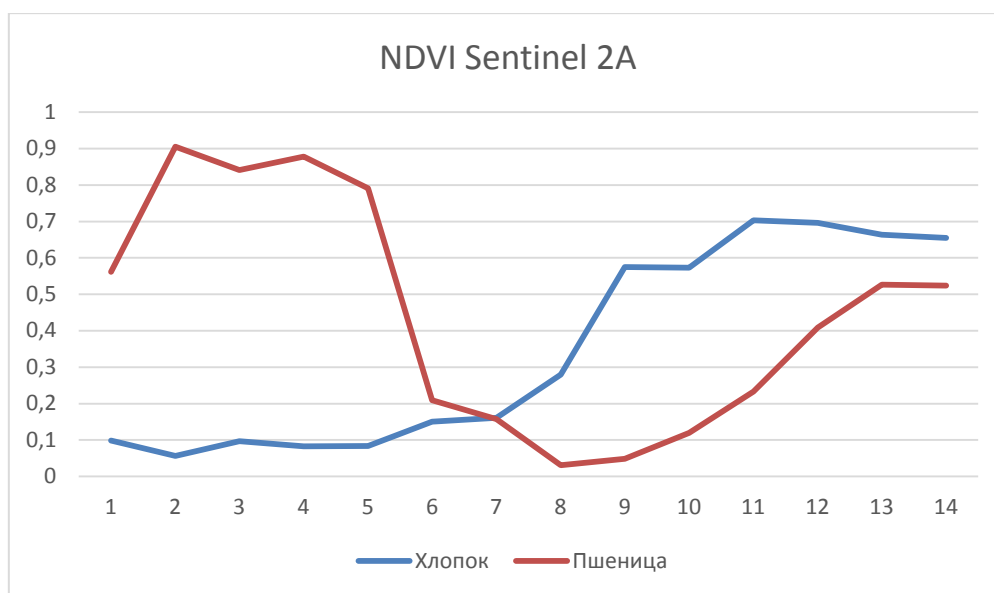


Рис. 6. Индекс растительности NDVI по Sentinel 2A

Графики подтверждают идентичность расчета. Различия возникают вследствие меньших размеров пикселей на снимках Sentinel, что обеспечивает более точный учет тех пикселей, которые попадали в то или иное поле.

Результаты

С помощью программы на языке R и его пакетов для контролируемой классификации мы запускали модель для Landsat и для Sentinel.

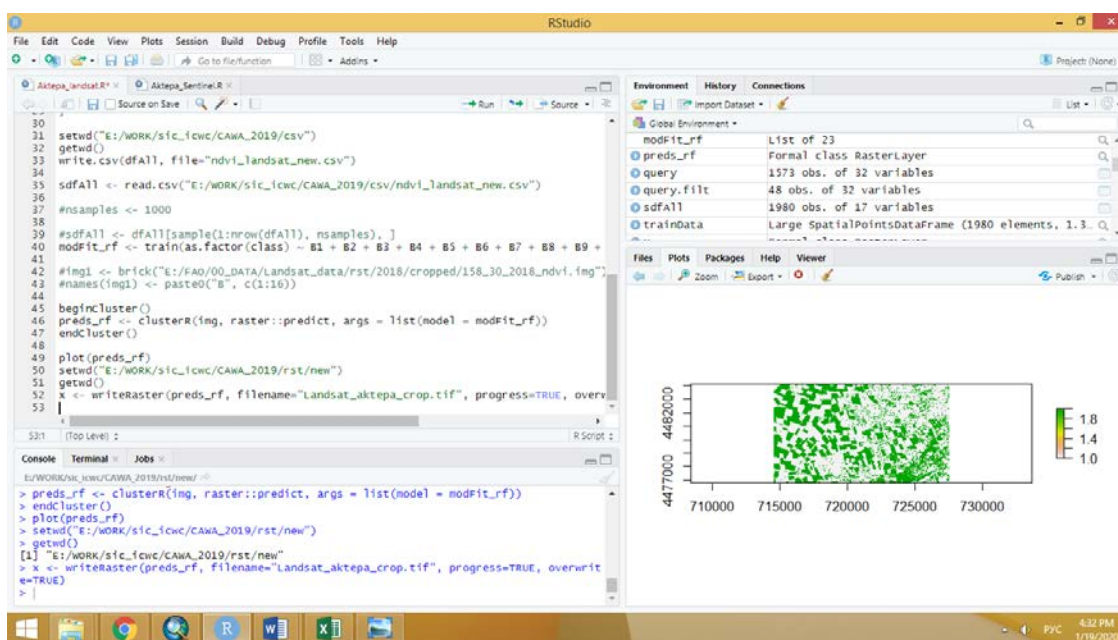


Рис. 7. Текст программы для контролируемой классификации



Рис. 8. Результат контролируемой классификации по Landsat 8



Рис. 9. Результат контролируемой классификации по Sentinel 2A

Площади по контролируемой классификации, га

№	Наименование	Landsat 8	Sentinel 2A
1	Хлопчатник	173,9 га	171,8 га
2	Пшеница	193 га	193,1 га

Основные задачи, решаемые с помощью данных дистанционного зондирования

В зарубежной литературе существует ряд обзоров, отражающих использование данных дистанционного зондирования для решения различных задач в области инвентаризации, мониторинга и охраны растительных сообществ (Xie et al., 2008; Nagendra et al., 2013; Homolova et al., 2013; Kuenzer et al., 2014; Petrou et al., 2015 и др.). В отношении изучения растительного покрова выделим группы задач, в решении которых может существенно помочь использование космических снимков:

1. Инвентаризация растительного покрова, то есть получение первичной информации о его составе и структуре. Это может быть, как собственно картографирование в узком смысле (создание карт), так и получение информации о распространении единиц растительного покрова разного масштаба, от формаций до отдельных видов (последнее, как правило, возможно при использовании снимков высокого разрешения или методами индикационного картографирования с использованием технологий моделирования распространения видов Species Distribution Modelling).

2. Количественная оценка, то есть получение метрик, численно отражающих требуемый параметр, на основе спектральных индексов (Kuenzer et al., 2014).

С помощью космических снимков можно оценить большое число параметров: биологическое разнообразие, биомассу, сомкнутость крон, фотосинтетическую активность, индекс LAI и даже содержание некоторых элементов, например, азота (Homolova et al., 2013).

3. Моделирование и прогнозирование распределения отдельных элементов растительного покрова, изменения границ сообществ и т. д. В этих процессах данные дистанционного зондирования могут выступать как количественные или качественные входные данные или как основа для экстраполяции результатов моделирования.

4. Оценка и картографирование параметров среды (например, влажности почв; водоемов или болот – как мест обитания определенных видов или типов растительности), антропогенного влияния (дороги, вырубки и другие нарушения, влияющие на распределение элементов растительного покрова), угроз.

5. Оценка пространственного распределения характеристик растительного покрова (связности/фрагментированности территории, климатических/производных сообществ), выявление коридоров, пригодных для местообитаний редких видов, и т. п. (Petrou et al., 2015).

6. Совместный ГИС-анализ данных дистанционного зондирования и других данных (например, параметров рельефа, гидросети и т. п.) открывает возможности статистического анализа закономерностей распределения растительного покрова, т. к. на основе космических снимков (в отличие от точечных полевых данных) можно получить пространственно непрерывные данные о встречаемости, например, растительного сообщества.

Заключение и выводы

Обработка данных дистанционного зондирования Земли – актуальный и важный метод биологических исследований. При выборе типа данных и программы для их обработки следует руководствоваться принципом «от простого к сложному»: если не стоит задачи изучить много разных программ и методов дистанционного зондирования (что, конечно, может быть очень полезно, но предполагает для начала ознакомление со специальной литературой), стоит сначала узнать, могут ли более простая программа и данные глубокой обработки выполнить требования исследователя. Уже самые простые программы открывают большие возможности для планирования исследований. Если же необходимо использовать данные дистанционного зондирования не только как подложку, но и как источник данных, приведенные выше примеры проектов и методов исследований помогут сориентироваться и определить, какие именно космические снимки, какое программное обеспечение и какие методы работы необходимо выбрать для решения поставленной задачи.

Ниже приведены простые алгоритмы для выбора данных и программы для исследования. Для выбора космического снимка нужно определить необходимые характеристики данных, ответив на следующие вопросы:

- Каков размер объектов, которые нужно обнаружить на снимке?
- Как часто должны обновляться данные? Когда, по Вашему предположению, возникли объекты/явления, которые необходимо обнаружить?

– Насколько глобально распространен объект изучения? Какой должен быть размер сцены?

– Каковы необходимые спектральные диапазоны? Нужна ли возможность использовать спектральные каналы по отдельности? Нужны ли инфракрасные каналы? Планируете ли Вы использовать индексы вегетации, математические операции с каналами или классификацию?

Как выбрать программу для работы?

– Посмотреть, сопоставить снимки с собственными векторными данными, визуальное дешифрирование и оцифровка объектов с четкими границами – GoogleEarth, SAS-планета;

– Необходимость работы со спектральными каналами, визуальное дешифрирование и оцифровка объектов со сложными границами, создание картосхем, простейшая классификация (автоматизированное выделение объектов с четкими границами) – ArcGIS, QuantumGIS;

– Сложная классификация (автоматизированное выделение объектов с размытыми границами), извлечение скрытой информации, применение алгоритмов DataMining – ScanEx Image Processor, QuantumGIS+GDAL, PCI Geomatica, ENVI.

Дистанционное зондирование – мощный инструмент, который позволяет, с одной стороны, облегчить работу, а с другой – получить информацию, которую другим путем получить практически невозможно. Конечно, этот метод имеет разную эффективность в приложении к разным объектам исследования. Космические снимки незаменимы в мониторинговых исследованиях и для глобальных оценок; они очень эффективны при изучении лесных сообществ, что подтверждается огромным количеством исследований. Применение этого метода при изучении нелесных сообществ или отдельных видов несколько сложнее (и, как следствие, в этих областях ДЗЗ используется не так широко), но и тут космические снимки дают много полезной информации, и, с увеличением доступности и разнообразия методов обработки, проекты с использованием ДЗЗ в этих областях встречаются все чаще.

Использованная литература

7. Антипин В. К., Токарев П. Н. Структурная организация картирование болот национального парка «Водлозерский» // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. № 1–6. С. 1584–1586.
8. Пузаченко М. Ю., Черненко Т. В., Басова Е. В. Природно-антропогенная вариабельность растительного покрова центральной части Мурманской области и ее картографическое отображение // Отечественная геоботаника: основные вехи

- и перспективы: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. СПб., 2011. Т. 1. С. 408–411.
9. Рассказов А. А., Галаганова Л. А. Использование данных Landsat для оценки динамики изменений растительного покрова на территории Мещеры // Научные труды Института непрерывного профессионального образования. 2014. № 3. С. 236–239.
 10. Chen Y., Dengsheng L., Geping L., Jingfeng H. Detection of vegetation abundance change in the alpine tree line using multitemporal Landsat Thematic Mapper imagery // *Int. J. of Rem. Sens.* 2015. Vol. 36:18. P. 4683–4701. DOI: 10.1080/01431161.2015.1088675.
 11. Cord A. F., Klein D., Mora F., Dech S. Comparing the suitability of classified land cover data and remote sensing variables for modeling distribution patterns of plants // *Ecological Modelling.* 2014. Vol. 272. P. 129–140. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2013.09.011.
 12. Gallant A. L. The Challenges of Remote Monitoring of Wetlands // *Rem. Sens.* 2015. Vol. 7(8). P. 10938–10950. DOI: 10.3390/rs70810938.
 13. Gavier-Pizarro G. I., Kuemmerle T., Hoyo L. E., Stewart S. I., Huebner C. D., Keuler N. S., Radeloff V. C. Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+ satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina // *Rem. Sens. of Env.* 2012. Vol. 122. P. 134–145. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.023.
 14. Homolova L., Malenovský Z., Clevers J. G., Garcia-Santos G., Schaepman M. E. Review of optical-based remote sensing for plant trait mapping // *Ecological Complexity.* 2013. Vol. 15. P. 1–16. DOI: 10.1016/j.ecocom.2013.06.003.
 15. Klemas V. Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques // *Journal of Coastal Research.* 2011. Vol. 27. № 3. P. 418–427. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-10-00174.1.
 16. Kuenzer C., Ottinger M., Wegmann M., Guo H., Wang C., Zhang J., Dech S., Wikelski M. Earth observation satellite sensors for biodiversity monitoring: potentials and bottlenecks // *Int. J. of Rem. Sens.* 2014. Vol. 35:18. P. 6599–6647. DOI: 10.1080/01431161.2014.964349.
 17. Leitão P. J., Schwieder M., Suess S., Catry I., Milton E. J., Moreira F., Osborne P. E., Pinto M. J., van der Linden S., Hostert P. Mapping beta diversity from space: Sparse generalised dissimilarity modelling (SGDM) for analysing high-dimensional data // *Methods Ecol. Evol.* 2015. Vol. 6. P. 764–771. DOI: 10.1111/2041-210X.12378.
 18. Nagendra H., Lucas R., Honrado J. P., Jongman R. H., Tarantino C., Adamo M., Mairota P. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats // *Ecological Indicators.* 2013. Vol. 33. P. 45–59. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.09.014.
 19. Petrou Z. I., Manakos I., Stathaki T. Remote sensing for biodiversity monitoring: a review of methods for biodiversity indicator extraction and assessment of progress towards international targets // *Biodiversity and Conservation.* 2015. Vol. 24. № 10. P. 2333–2363. DOI: 10.1007/s10531-015-0947-z.
 20. Turner W., Rondinini C., Pettorelli N., Mora B., Leidner A. K., Szantoi Z., Buchanan G., Dech S., Dwyer J., Herold M., Koh L. P., Leimgruber P., Taubenboeck H.,

Wegmann M., Wikelski M., Woodcock, C. Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation // *Biological Conservation*. 2015. Vol. 182. P. 173–176. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.11.048.

21. Xie Y., Sha Z., Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review // *Journal of plant ecology*. 2008. Vol. 1. № 1. P. 9–23. DOI: 10.1093/jpe/rtn005.

Мониторинг эффективности использования оросительной воды в странах Центральной Азии на базе инструмента дистанционного зондирования WUEMoSA и наземных наблюдений

Сорокин А.Г., Сорокин Д.А.

Научно-информационный центр МКВК

В статье приводится предложение по проведению мониторинга эффективности использования оросительной воды в странах ЦА, осуществляемому по показателям на базе инструмента дистанционного зондирования WUEMoSA. На примере отдельных районов и областей стран ЦА дана оценка эффективности использования оросительной воды стран ЦА за 2012-2017 годы, выполненная с использованием данных WUEMoSA и наземных наблюдений.

В экономике водного хозяйства под эффективностью использования оросительной воды чаще всего понимают соотношение стоимости полученной продукции к произведенным затратам. В более широком понимании, эффективность можно представить, как соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами.

Если одну из задач работы оросительной системы представить, как доведение оросительной воды от источника (водозабора) до растений с минимальными потерями, то эффективность использования оросительной воды можно выразить отношением количества воды, которую используют растения ($E_{Ta} * F, м^3$) к количеству воды, подаваемому на орошение в контур оросительной системы, района, области ($W, м^3$), а также приходящей в виде осадков ($O * F, м^3$) и подпитки из грунтовых вод ($G, м^3$):

$$E_{Ta} * F / (W + G + O * F) \quad (1)$$

Где:

E_{Ta} – фактическая эвапотранспирация (м),

O – осадки (м),

G – подпитка растений из грунтовых вод, расчет по Хардченко-Лактаеву ($м^3$),

F – орошаемая площадь ($м^2$).

Показатель (1) можно преобразовать к виду (2), характеризующему потери воды в контуре (крупная оросительная система, район, область), в процентах (%) от поданной воды:

$$[1 - E_{Ta} * F / (W + G + O * F)] * 100 \quad (2)$$

Решающим фактором проведения качественного анализа по показателям (1, 2) является использование независимой информации (данных) дистанционного зондирования со спутников, обработанных на основе наземной калибровки. Энергобалансовые модели, используемые данные дистанционного зондирования, позволяют определять параметр E_{Ta} , как остаточный член уравнения баланса энергии.

Отслеживать динамику E_{Ta} в рамках районов и областей ЦА можно на базе WUEMoSA – онлайн платформы дистанционного зондирования – автоматизированного космического мониторинга, обеспечивающего пространственную динамическую информацию по землепользованию для стран ЦА, включая оценку орошаемых площадей, урожайности с/х культур, эвапотранспирации, полученных на основе открытых спутниковых данных MODIS 250 м и общедоступных глобальных климатических данных. Рабочая версия WUEMoSA доступна по адресу <http://wuemosa.net>.

Другим показателем эффективности использования оросительной воды может быть отношение фактического количества используемой воды для выращивания урожая (E_{Ta} , м) к количеству, необходимому для растений (E_{Tc} , м):

$$E_{Ta} / E_{Tc} \quad (3)$$

Отношение E_{Ta}/E_{Tc} характеризует обеспеченность водой растений в данном контуре орошаемых земель, но также отражает и возможное влияние других факторов, угнетающих растения. При пренебрежении другими факторами, кроме водного, данный показатель может характеризовать: дефицит воды (при $E_{Ta}/E_{Tc} < 1$) или избыток воды, т.е. необоснованные ее потери (при $E_{Ta}/E_{Tc} > 1$), когда растению подается больше воды, чем необходимо. Эвапотранспирация, показывающая потребность с/х культур в воде, рассчитывается по линейной зависимости:

$$E_{Tc} = K_c * E_{To} \quad (4)$$

Где:

K_c – коэффициент культуры,

ЕТо (м) – испаряющая сила атмосферы, выраженная в виде эталонной эвапотранспирации (со стандартной растительной поверхности), является климатическим параметром (т.е. зависит только от климатических данных), рассчитывается по методологии ФАО (по формуле Пенмана-Монтейта),

ЕТс – эвапотранспирация сельскохозяйственных культур в стандартных условиях – средняя взвешенная на площади F

$$(E_{Tc} = \sum ET_{ci} * F_i / \sum F_i) \text{ (м)}$$

Показатель (3) можно преобразовать к виду (5), характеризующему дефицит воды (знак “-“), используемой растениями, или ее избыток (знак “+”), в процентах (%) от расчетной потребности (нормы):

$$[E_{Ta} / E_{Tc} - 1] * 100 \quad (5)$$

Ниже приводится оценка эффективности использования оросительной воды в отдельных областях и районах странах Центральной Азии по показателям эффективности, выполненная на базе инструмента дистанционного зондирования WUEMoSA и наземных наблюдений за 2012-2017 гг. Оценка выполнена за вегетационные периоды.

В таблице 1 за период 2012-2017 гг. представлены показатели водообеспеченности (3) и эффективности использования оросительной воды (1) в вегетацию в среднем по странам.

Таблица 1

**Динамика показателей водообеспеченности и эффективности использования оросительной воды
за вегетации 2012-2017 гг. по странам ЦА**

Страны	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Среднее
Показатель водообеспеченности ET_a / ET_c							
Республика Казахстан	0.86	0.8	0.87	0.81	0.89	0.93	0.86
Кыргызская Республика	0.76	0.71	0.88	0.87	0.87	0.86	0.83
Республика Таджикистан	0.84	0.82	0.86	0.85	0.89	0.88	0.86
Республика Узбекистан	1.01	0.95	0.9	0.89	0.94	0.89	0.93
В среднем по странам	0.87	0.82	0.88	0.86	0.9	0.89	0.87
Показатель эффективности использования оросительной воды $ET_a * F / (W + G + O * F)$							
Республика Казахстан	0.67	0.63	0.64	0.64	0.67	0.69	0.66
Кыргызская Республика	0.62	0.59	0.65	0.66	0.64	0.59	0.63
Республика Таджикистан	0.54	0.52	0.5	0.47	0.52	0.45	0.5
Республика Узбекистан	0.56	0.56	0.56	0.53	0.57	0.56	0.55
В среднем по странам	0.6	0.58	0.59	0.57	0.6	0.54	0.58

Таблица 2

**Динамика показателей водообеспеченности и эффективности использования оросительной воды
за 2012-2017 гг. по водохозяйственным районам Республики Узбекистан**

Водохозяйственный район	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Среднее
Показатель водообеспеченности ET_a / ET_c							
Бассейн Сырдарьи	1.14	1.04	1.01	0.94	0.98	1.01	1.02
В том числе:							
Ферганская долина	1.27	1.15	1.11	1.01	1.03	1.14	1.12
Среднее течение	1.01	0.93	0.92	0.87	0.94	0.88	0.93
Бассейн Амударьи	0.91	0.88	0.81	0.85	0.91	0.79	0.86
В том числе:							
Верхнее течение	0.95	0.86	0.84	0.82	0.88	0.88	0.87
Среднее течение	1.00	0.91	0.88	0.91	1.00	0.87	0.93
Низовья бассейна	0.77	0.87	0.72	0.83	0.85	0.61	0.78
Показатель эффективности использования оросительной воды $ET_a * F / (W + G + O * F)$							
Бассейн Сырдарьи	0.53	0.53	0.55	0.5	0.53	0.5	0.52
В том числе:							
Ферганская долина	0.57	0.56	0.57	0.51	0.54	0.55	0.55
Среднее течение	0.48	0.5	0.53	0.49	0.52	0.46	0.49
Бассейн Амударьи	0.58	0.59	0.57	0.55	0.6	0.55	0.57
В том числе:							
Верхнее течение	0.65	0.64	0.65	0.62	0.69	0.61	0.64
Среднее течение	0.61	0.57	0.6	0.54	0.59	0.59	0.58
Низовья бассейна	0.45	0.54	0.47	0.49	0.50	0.44	0.48

Республика Казахстан

Показатели по Республике Казахстан представляют собой осреднение по Кызылординской и Туркестанской (до 2018 года – Южно-Казахстанская) областям.

В среднем по Республике Казахстан показатель водообеспеченности за 2012-2017 гг. изменялся от 0.8 до 0.93, что показывает недостаток воды в вегетацию для с/х растений в 1.2–0.4 км³. По областям данный показатель изменялся от 0.75 до 0.94, а по районам – 0.65–1.02.

Показатель эффективности за 2012-2017 гг. в среднем по республике изменялся от 0.63 до 0.69, что показывает потери воды в оросительных системах в размере 1.9–2.2 км³ вегетационной воды. По отдельным районам данный показатель снижался до 0.37 (63 % потерь в оросительных система).

Кыргызская Республика

Показатели по Кыргызской Республике представляют собой осреднение по Джалал-Абадской, Баткенской и Ошской областям. Оценка по Нарынской области не выполнялась, также, как по другим областям, не входящим в бассейн Аральского моря (Иссык-Кульская, Таласская, Чуйская).

В среднем по Кыргызской Республики показатель водообеспеченности за 2012-2017 гг. изменялся от 0.71 до 0.88, что показывает недостаток воды в вегетацию для с/х растений в 0.8–0.3 км³. По областям изменение данного показателя наблюдалось в пределах 0.61–0.89, а по районам – 0.4–1.0.

Показатель эффективности за 2012-2017 гг. в среднем по республике изменялся от 0.59 до 0.65, что показывает потери воды в оросительных системах в размере 0.9–1.1 км³ вегетационной воды. Эффективность по отдельным областям в отдельные годы снижалась до 0.57. В отдельных районах потери воды достигали 64 % (показатель эффективности 0.36).

Республика Таджикистан

Показатели по Республике Таджикистан представляют собой осреднение по Хатлонской, Согдийской областям и районов республиканского подчинения (РРП). Для Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) оценка не производилась.

В среднем, по Республике Таджикистан показатель водообеспеченности ЕТа / ЕТс за 2012-2017 гг. изменялся в пределах 0.82–0.89

(1.26–0.78 км³ дефицита вегетационной воды), а при оценке областей – от 0.76 до 0.94. Зафиксированы только единичные случаи в некоторых районах Согдийской области и РРП Республики Таджикистан, когда данный показатель превышал единицу на 10-20 %, т.е. было зафиксирована избыточная подача воды с/х растениям за вегетацию.

Показатель эффективности $E_{Ta} * F / (W + G + O * F)$ за 2012-2017 гг., в среднем по республике, изменялся от 0.45 до 0.54, что свидетельствует о потерях воды в системе орошения в 4.2–3.4 км³ вегетационной воды. В среднем за период, по областям Республики Таджикистан данный показатель изменялся в пределах 0.43–0.67. Значение показателя 0.67, рассчитанное по данным РРП (указывает на потери в системе орошения в 37 %) вызывает сомнение: возможно, показатель несколько завышен по причине неточности (занижения) данных об использовании водных ресурсов.

Республика Узбекистан

В таблице 2 представлены показатели водообеспеченности (3) и эффективности использования оросительной воды (1) по водохозяйственным районам Республики Узбекистан за период 2012-2017 гг. Показатели Ферганской долины представляют собой осредненные данные по Наманганской, Андижанской и Ферганской областям, показатели среднего течения бассейна Сырдарьи – осредненные величины по Ташкентской, Сырдарьинской и Джизакской областям. К верхнему течению бассейна Амударьи условно отнесли Сурхандарьинскую и Кашкадарьинскую области, к среднему течению бассейна Амударьи – Самаркандскую, Бухарскую и Навоийскую области. Показатели низовий Амударьи – осреднение показателей Хорезмской области и Республики Каракалпакстан. Оценка выполнена за вегетационные периоды.

Как видно из таблицы 1, средний за 2012-2017 гг. показатель водообеспеченности по Республике Узбекистан оценивался в 0.93. Это означает, что растениям не хватает 7 % подаваемой воды по сравнению с рекомендациями ФАО, или 2.8 км³ вегетационного стока. По данному показателю существует небольшой тренд на увеличение дефицита воды – от избытка воды в 2012 г. (0,4 км³) до максимального дефицита в 2017 г. (4,5 км³).

По Республике Узбекистан наблюдались колебания показателя водообеспеченности по территории и годам в пределах 25-40 % - от значений выше единицы (что говорит о подаче воды растениям выше их потребности) до значений ниже единицы (при дефиците воды), причиной чего могут быть неточности в оценке норм водопотребления и неравномерное распределение воды по территории.

По бассейну Сырдарьи показатель водообеспеченности за 2012-2017 гг. изменялся в пределах от 0.94 до 1.14, а по бассейну Амударья – от 0.79 до 0.91. В среднем за период 2012-2017 гг. показатель водообеспеченности по бассейну Сырдарьи составил 1.02, а по бассейну Амударья – 0.86. Таким образом, по бассейну Сырдарьи наблюдался избыток подачи воды с/х растениям в 2 %, а по бассейну Амударья – дефицит в 14 %.

Наибольшие значения показателя водообеспеченности ЕТа/ЕТс наблюдались в Наманганской (1.2), Андижанской (1.11), Ферганской (1.06) областях, наименьшие – в Хорезмской (0.81), Навоийской (0.79) областях и Каракалпакстане (0.76). Таким образом, в одних областях Узбекистана подается больше воды, чем необходимо по потребностям с/х культур, а в других ощущается дефицит. Такая неравномерность является одним из факторов, снижающих продуктивность оросительной воды. Колебания показателя ЕТа/ЕТс по районам Узбекистана еще более значительны. Отклонения районных показателей водообеспеченности от средних по областям достигают: в Ферганской долине до +48% и -28%.

Покрыть дефицит подачи воды растениям можно за счет сокращения потерь воды в оросительных системах и на полях орошения. Такие потери в среднем за период оцениваются в 45 % или в 17.8 км³ вегетационной воды (показатель эффективности для вегетационного периода 0.55). За период 2012-2017 гг. потери воды изменялись от 16.2 км³ до 18.9 км³ вегетационной воды.

Динамика показателей водообеспеченности по областям Республики Узбекистан за 2012-2017 годы представлена на рис. 1.

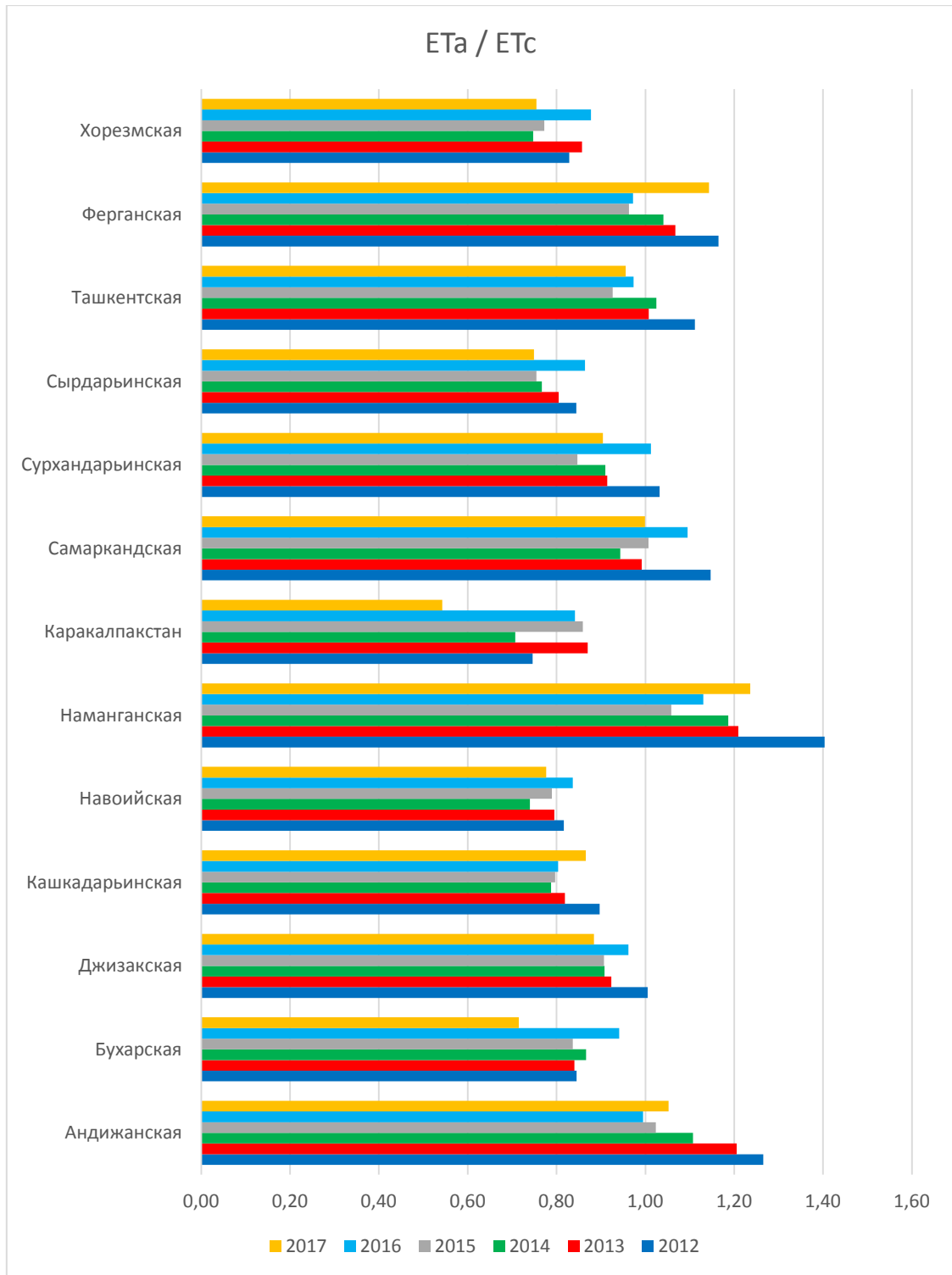


Рис 1. Динамика показателя водообеспеченности по областям Республики Узбекистан

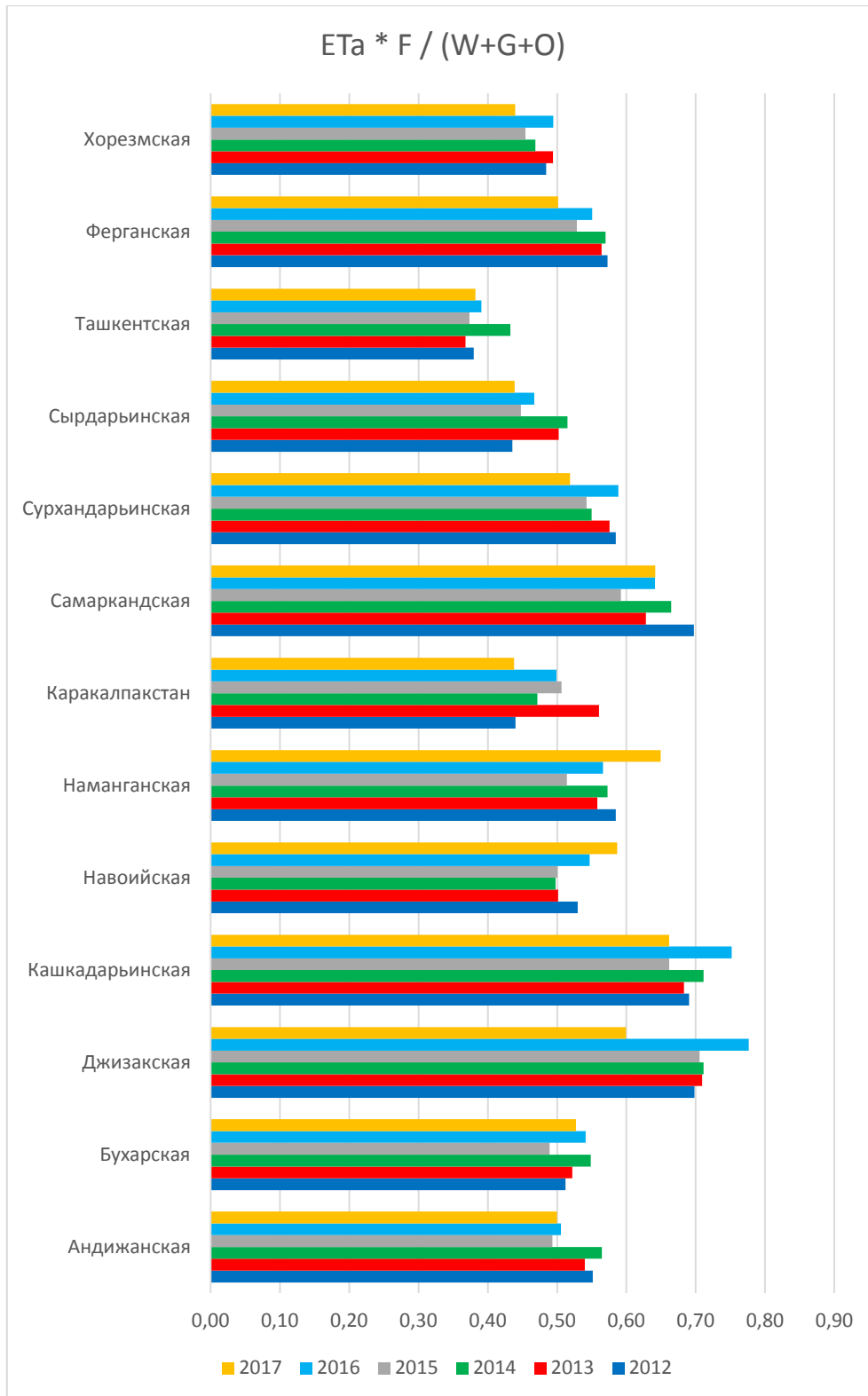


Рис 2. Динамика показателя эффективности по областям Республики Узбекистан

Показатель эффективности по бассейну Сырдарьи оценивается в 0.5–0.55, а по бассейну Амударьи – в 0.55–0.6 (табл. 2). Таким образом, если в среднем за период 2012-2017 гг. потери воды в оросительной системе бассейна Сырдарьи в вегетацию оцениваются в 48 %, то в бассейне Амударьи – 43 %, т.е. на 5 % меньше, чем в бассейне Сырдарьи. В тоже время, потери в реках и водохранилищах бассейна Амударьи (территория Республики Узбекистан) значительно превышают русловые потери в бассейне реки Сырдарья.

Наибольшие значения показателя эффективности

$$E_{Ta} * F / (W + G + O * F)$$

наблюдались в Джизакской (0.7), Кашкадарьинской (0.69) и Самаркандской (0.64) областях, наименьшие (что свидетельствует о наибольших потерях воды) – в Каракалпакстане (0.49), Хорезме (0.47) и Ташкентской области (0.4). Завышение показателей эффективности по районам Джизакской, Самаркандской, Кашкадарьинской областей возможно по причине некоторого занижения данных об использовании водных ресурсов – не полного учета местных ресурсов и др.

По данным MBX РУз за 2017 год коэффициент полезного действия оросительных систем областей Республики Узбекистан изменяется с 0.56 (Республика Каракалпакстан) до 0.77 (Джизакская область). В среднем по Узбекистану КПД всей системы (внутрихозяйственная и межхозяйственная сеть) оценивается в 0.64, а с учетом потерь на полях орошения – в 0.5. Таким образом, оценка по показателю эффективности с использованием данных WUEMoCA за вегетацию дает на 5 % меньше потерь, чем по данными MBX РУз в целом за год.

Динамика показателей эффективности использования водных ресурсов по областям Республики Узбекистан за 2012-2017 годы представлена на рис. 2.

Для картографической интерпретации индикаторов WUEMoCA был разработан онлайн инструмент (<http://cawater-info.net/data>), позволяющий визуализировать показатели эффективности в формате карт с различной цветовой градацией в зависимости от имеющегося диапазона данных (работчик Д. Сорокин). Отображение информации на карте происходит по административным границам районов государства (рис. 3).

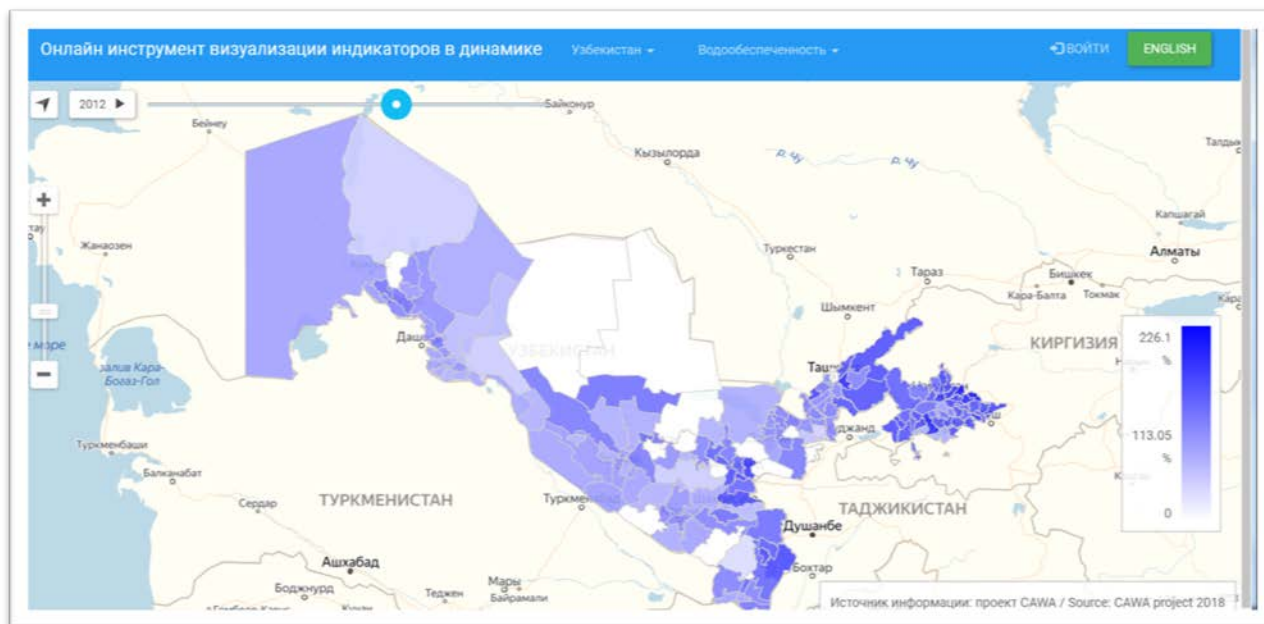


Рис. 3 Визуализация показателя ЕТа/ЕТс по районам Республики Узбекистан в динамике за 2012-2017 гг.

Выводы

1. В настоящее время WUEMoCA максимально приближен к пользователю, и является эффективной системой учета, сбора, анализа и распространения данных по оценке водохозяйственной ситуации отдельных контуров – областей, районов, крупных оросительных систем стран ЦА (в границах бассейна Аральского моря), основанной на дистанционном зондировании и наземных наблюдений (данных служб эксплуатации, статистики).

2. Проведенные анализ показывает, что полученные результаты оценки водообеспеченности и эффективности использования оросительной воды в районах и областях стран ЦА на базе WUEMoCA, можно считать предварительными, требующими в дальнейшем уточнения – проверки полноты и достоверности статистических данных, а также совершенствования алгоритма обработки космических снимков.

3. Предлагаемая методология оценки эффективности использования оросительной воды на базе данных WUEMoCA и наземных наблюдений, уже на этом этапе разработок (конец 2019 г.), позволяет выявить резервы повышения эффективности использования водных и земельных ресурсов: экономия воды и снижение дефицита может быть достигнута за

счет повышения эффективности управление водными ресурсами (снижения потерь с оросительных системах, достижения равномерного распределения возникающего дефицита воды путем лучшего учета воды и планирования) и требованиями на воду (уточнение норм водопотребления для с/х культур).

Перспективы использования инструментов дистанционного зондирования

Духовный В.А., Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф.

Научно-информационный центр МКВК

Введение

В современной отечественной науке и практике стран региона накоплен значительный запас методов, приёмов, технологий, которые позволяют при определённом усилении инфраструктуры орошаемого земледелия и сельского хозяйства, её строгом структурном и целевом построении сформировать комплекс, гарантирующий устойчивость сельскохозяйственного производства и наращивание его потенциала, адаптируясь к происходящим изменениям климата. Значительный прогресс в освоении новых методов управления природными процессами накоплен в Центральной Азии, благодаря осуществлению Берлинской инициативы (2008), которая практически презентовала региону набор знаний, связанных с использованием дистанционных методов в сельском хозяйстве в рамках ряда проектов, ведущее место среди которых занимает проект САВА федерального Министерства иностранных дел Германии.

Преимуществом дистанционных методов зондирования (ДЗЗ), является возможность получения большей части основных характеристик водного хозяйства и орошаемого земледелия в широком площадном масштабе, а также определения динамики временных оценок, насколько это позволяет частота получения спутниковых снимков. Поэтому разработанная нами методика оценки водообеспеченности орошаемых земель и равномерности распределения оросительной воды, которую невозможно анализировать традиционными методами в больших масштабах, становится реальной на основе ежедекадной информации даже для всей Центральной Азии с использованием ДЗЗ. При этом объектам исследования могут быть как территория страны или области с помощью спутника MODIS с разрешением 250–500–1000 м/пиксель, в масштабах района и АВП – с использованием спутника типа LANDSAT с разрешением 15–30–60 м/пиксель., а для детальной оценки ситуации в отдельных фермерских хозяйствах – с помощью спутника SENTINEL2, с разрешением 10–20–60 м/пиксель, имеющих в открытом доступе. В настоящее время спутники высокого разрешения имеются и в российской системе ГЛОНАС.

Методика

В регионе ранее культивировалось повышение продуктивности земель путём программирования урожая. Программирование урожая (ПУ) – это разработка комплекса взаимосвязанных агротехнических и мелиоративных мероприятий, своевременное и высококачественное выполнение которых обеспечивает получение заранее рассчитанного урожая при одновременном повышении почвенного плодородия и улучшении экологической обстановки. Метод программирования урожая исходит из того, что на каждом конкретном поле можно запланировать урожай и обеспечить его получение путём учёта всех почвенно-климатических факторов, дифференциации агротехнических и мелиоративных приёмов оптимального использования материальных, технических и трудовых ресурсов, осуществляя контроль и управление растениями на каждом уровне формирования продуктивности. (В.А. Духовный, Г.В. Стулина и др., 2016) Этот метод получил определённое распространение в 1985-1989 годах в многочисленных экспериментальных работах научных учреждений, проводивших исследования в различных почвенно-климатических условиях страны и региона (С.В. Нерпин, А.Ф. Чудновский, И.С. Шатилов, О.Д. Сиротенко). Для этого метода рутинным было получение урожая хлопка-сырца 40–50 ц/га, сена люцерны 180–200 ц/га, зерна кукурузы 80-100 ц/га, риса 55–65 ц/га. Об этом свидетельствует также опыт передовиков производства. Однако существенный разрыв в урожаях, получаемых в опытных посевах и в средних условиях производства, предполагает, что ещё далеко не в полной мере используются преимущества этого подхода, особенно в части учёта чрезвычайно разнообразия почвенных и других природных условий, организационно – технических, экономических и социальных условий конкретного хозяйства. Вместе с тем результаты анализа деятельности ряда хозяйств говорят и об отдельных нарушениях технологической дисциплины, связанных со сроками и нормами сева, внесением удобрений, сроками и качеством поливов, междурядных обработок и т.д.

ДЗЗ значительно расширяет возможности применения программирования урожая. ДЗЗ является тем инструментом, с помощью которого многочисленные факторы продуктивности земель могут не только определяться по конечным результатам вегетации - что привело к потере урожая, но и контролироваться в течение всей вегетации.

Сочетание программирования урожая с использованием ДЗЗ призваны сделать работу целенаправленной, повысить технологическую дисциплину, обеспечить более эффективное использование почвенно-климатических ресурсов, выделяемых средств на мелиорацию, химизацию и механизацию, улучшить экономику и доходы сельхозпроизводителей.

Практическое осуществление предлагаемого комплекса «ПУ-ДЗ» – программирование продуктивности на основе дистанционного зондирования представляет собой сложную многоплановую задачу, поскольку предполагает учёт многофакторной, непрерывно меняющейся ситуации сельскохозяйственного производства, включающей слабо предсказуемый характер погодных условий, сложные и во многом неопределённые реакции растений на воздействие комплекса факторов внешней среды, а также экономические аспекты. Работа по ПУ есть не что иное, как создание и внедрение АСУ ТП в растениеводство, в земледелие, причём на первом этапе не столько автоматизированной системы управления, управления технологическими процессами в земледелии, сколько системы управления ТП вообще. Польза от внедрения именно системы управления состоит в:

- создании инструментария для квалифицированной организации и функционирования консультативной службы фермеров;
- подготовке программы действий для достаточно грамотного коллектива специалистов с хорошим уровнем организации на все случаи возможных природных, хозяйственных и организационных отклонений от оптимальных условий, четкой технологической последовательности, объёмов, графиков и сроков работ, чтобы с минимальными потерями продуктивности преодолеть эти трудности.
- представлении каждому фермеру системы, как бы всеобъемлющий свод «ноу-хау» в земледелии, сопровождаемый набором текущих рекомендаций дистанционных, климатических, организационных, особенно важных ныне с учётом возможности использования кластеров для поддержки сельского производства.

Основные положения

Предлагаемый комплекс ПУ-ДЗ основан на возможности ДЗЗ отражать многообразие наземных природных условий, а также на способности дистанционных изображений определять и коррелировать с широким набором показателей растительного покрова, находя для них индикаторы в разнообразном наборе вегетационных индексов (спектральных изображений). В презентациях Кенжибаева Ш, Сорокина А.Г и Сорокина Д.А. демонстрировались результаты идентификации показателей водообеспеченности с помощью индекса NDVI. Имеются десятки других индексов, которые могут отражать специфику других параметров растительного покрова, которые предстоит уточнить в практической работе. Система ДЗ легко сочетается с ГИС, что позволяет привлечь в площадном и пространственном отображении данные других водохозяйственных, агротехнических и

почвенно-гидрогеологических органов (ГМЭ, Геокадастра, Гидромета, БУИСа) для их сочленения и анализа в интересах урожая.

Использование ДЗЗ (дистанционное зондирование земли) может быть применено как индикатор состояния земли и посевов. Это важно как на начальном (предпосевном) этапе сельхоз деятельности – оценка будущего урожая при различных стартовых условиях, так и в процессе вегетации – оценка изменения состояния посевов в результате проведенных агротехнических мероприятий.

На начальном этапе в период голой земли (от схода снежного покрова и до появления всходов) будет сделана попытка определить содержание гумуса, NPK, PH, засоления, загипсованности и пр. характеристик почвы, используя богатый диапазон мультиспектральных снимков высокого разрешения и стоимости. Кроме прочего обработка таких снимков требует компьютеров с большим объемом оперативной памяти (порядка 256 Гб) и соответствующим по скорости выполнения операций процессором.

Базис ПУ-ДЗ будет сформирован как вычислительный управляющий комплекс, нацеленный на информационную поддержку прибыльного сельхозпроизводства в рамках фермерского хозяйства или их Ассоциации. Определяющим моментом в разработке программного комплекса является инфраструктура той хозяйственной единицы, которую предполагается обслуживать. В это понятие включается связь, состояние внутренней ирригационной системы, доступ к источникам удобрений и оросительной воды. Одинаково важными являются и степень экономической самостоятельности хозяйствующих субъектов, степень отстраненности от рынков сбыта (бирж), возможность фьючерсных сделок и т.п. Главной целью работы комплекса ПУ-ДЗ является внедрение в фермерское с/х производство экономически оправданных методов хозяйствования, учитывающих природные особенности, естественный и хозяйственный потенциал. Параллельно необходимо проводить обучение фермеров пользованию уже отлаженных приемов с/х производства. Данная форма может быть очень полезной для развивающейся ныне сети кластеров.

Основу комплекса составит база данных, в которой будет храниться вся информация по обслуживаемым фермерским хозяйствам (обследование и мониторинг фермерских хозяйств, паспорта полей), а в случае работы с АВП – об ирригационной системе и отводах командующей ирригационной системы, обслуживающей АВП. В БД должна быть введена оросительная сеть АВП/фермерских хозяйств. Информация о геометрии оросительной системы, АВП, фермерских хозяйствах и о полях должна быть введена на основе ДЗ средствами ГИС (QGIS или ArcInfo).

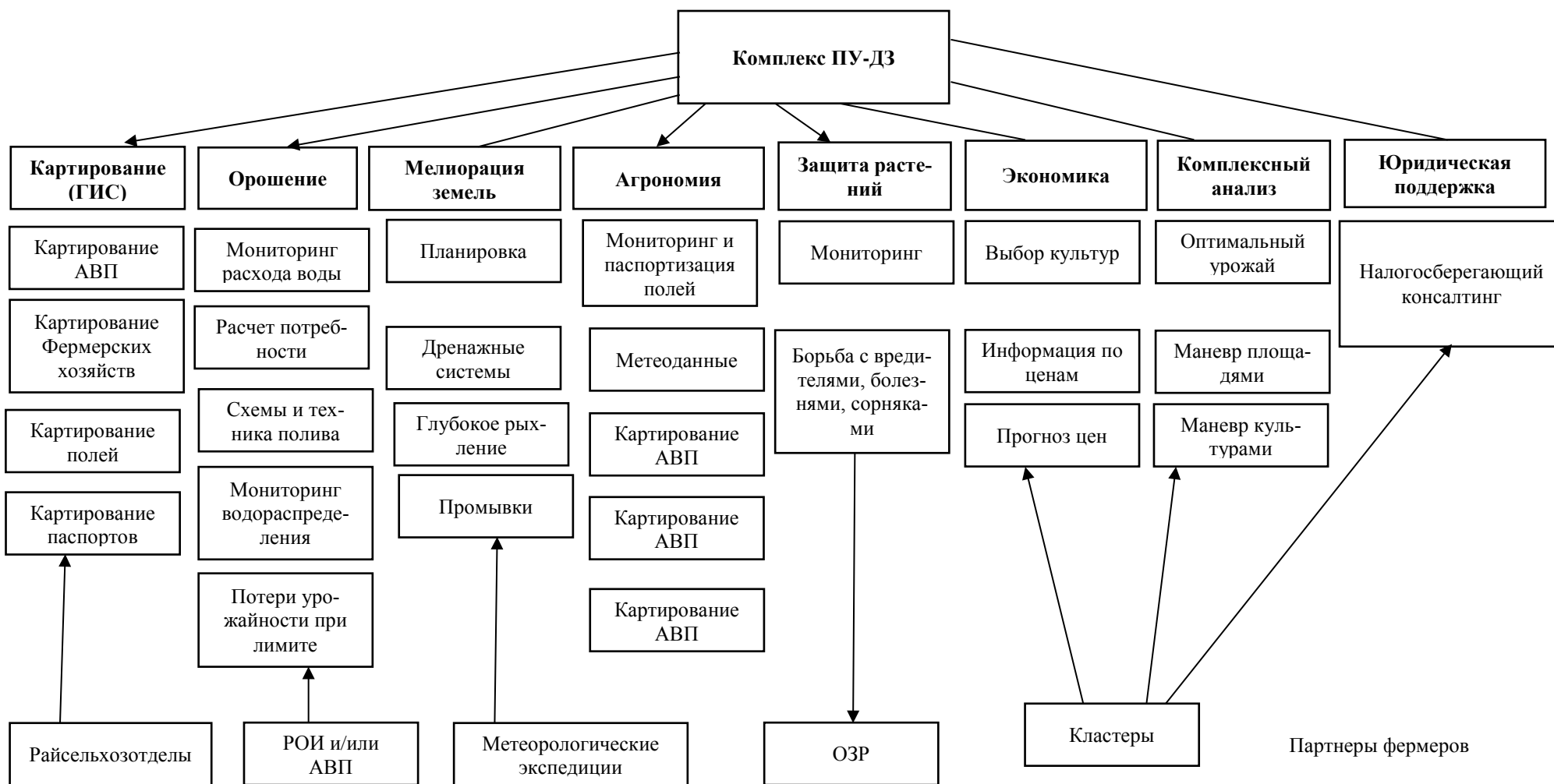


Рис. 1. Программирование урожая сельскохозяйственных культур с применением методов ДЗ

Состав вычислительного комплекса

Предлагаемая модель вычислительного комплекса может иметь структуру, приведенную на рис 1.

Предложения по осуществлению

Служба ПУ-ДЗ будет работать по специализированным направлениям в тесном взаимодействии с партнёрами фермерских хозяйств: райсельхозотделом, районным отделом ирригации и/или АВП, Мелиоративной экспедицией (МЭ), Отделом защиты растений, управлением кластером.

Решение поставленной задачи представляется на первом этапе следующим образом:

1. Составление модуля программы, реализующего всю цепочку алгоритма программирования урожая. При этом все коэффициенты, влияющие на урожай, будут браться из заранее подготовленных справочников.

2. Параллельно ведутся работы по определению факторных коэффициентов с использованием ДЗЗ, отражающих их влияние на урожай каждого из выявленных факторов влияния. По мере отработки технологии получения коэффициентов блоки их расчета по снимкам будут вставляться в программу вместо заложенных изначально в справочниках.

3. Таким образом, данный инструмент позволит получать оценку объема будущего потенциального урожая еще до сева на основе исходных почвенно-мелиоративных и организационных показателей. В процессе вегетации будет задействован механизм управления в виде применения коэффициентов влияния, учитываться текущие климатические параметры, характер почвенных условий и примененные агротехнические мероприятия. По ДЗЗ будет определяться их текущее значение. По ним будет производиться пересчет будущего урожая, что даст фермерам возможность контролировать ситуацию на полях в течение всей вегетации.

В дальнейшем разработанные алгоритмы потребуют сочленения с целым набором имеющихся и разрабатываемых технологий, предложений и организаций, чтобы сформировать предлагаемый комплекс.

а) мы рекомендуем, в первую очередь, областным научным институтам выработать для данного района и его местных организаций рекомендации для выбора оптимального состава культур для конкретного года с определёнными природно-экономическими условиями, предполагаемым прогнозом погоды и водности и характеристикой ожидаемого рынка сельхоз культур на основе специальной модели АСБММ зоны планирования,

прошедшей апробацию в прежних проектах НИЦ МКВК (например, PEER Amudarya USAID);

b) обеспечить фермера и Ассоциации водопользователей (АВП) набором технологических параметров и операций, гарантирующих высокую продуктивность возделывания набора выращиваемых культур, путём применения методов программирования урожая на основе технологических паспортов поля; осуществление этой работы на больших территориях, особенно отслеживание технологических правил и регламента проводилось большим количеством наблюдателей, которые не только следили за ходом работ, но и выработывали коэффициенты, демонстрировавшие параметры влияния технологических отклонений. Ныне в свете развития дистанционных наблюдений и широкого использования возможных результатов космических наблюдений, процедура программирования и слежения может быть передана на плечи этой части мониторинговой инфраструктуры, приведенной ниже в пункте f);

c) создать в рамках комплекса ПУ-ДЗ густую климатическую сеть с интенсивностью 1 станция на 20 -25 тысяч гектар орошаемых земель, с соответствующим программным обеспечением, анализом и прогнозированием климатических изменений, позволяющую отслеживать изменения погодных и климатических условий на уровне фермерских хозяйств. Это позволит соответственно корректировать на основе имеющейся методики расчёта водопотребления «Progwat» и данных климатической сети графики водоподачи и необходимость усовершенствования определённых технологических параметров обработки земли;

d) наладить получение информации по мелиоративному состоянию земель от Мелиоративных экспедиций, включая контроль положения грунтовых вод, засоления и заболачивания земель, используя эти данные также для корректировки водопотребления культур и нормы водоподачи;

e) создать охват дистанционными наблюдениями, которые будут отслеживать поведение растительной массы различных культур в зависимости от текущей погодно-климатической ситуации, строгого выполнения технологических процедур и правил, а также поливов, и своевременно принимать меры по устранению отклонений от предлагаемых процедур на основе разработанных для каждой культуры рекомендаций по управлению рисками. Это особенно важно в условиях изменения климата, неустойчивости погодных условий, возможных организационных хозяйственных и других срывов, которыми так полна сельскохозяйственная практика. Возможность такого отслеживания была получена нами в процессе работы в проекте «Lavassa», а также САВА, когда при организации контроля состояния водообеспеченности посевов, было установлено, что индекс NDVI достаточно чётко реагирует на недостаточное увлажнение почвы. В опре-

делённой степени это влияние может быть обнаружено как результат недополучения активной эвапотранспирации растительным покровом по соотношению E_{ta}/E_{Tc} ,

f) создать диспетчерскую службу на уровне каждого административного района, которая будет обслуживать все перечисленные сети наблюдений, и обеспечивать выработку и передачу рекомендаций фермерам и АВП, включая данные от мелиоративной службы по расходам коллекторов и дрен, и данные райводхозов по подаче воды в разрезе каждого водопользователя. При этом равномерность распределения воды между отдельными полями будет контролироваться с помощью дистанционных снимков, осуществляемых с помощью спутников открытого пользования «Sentinel2», как и другие показатели водообеспечения растений.

Выводы

Таким образом, задача проекта состоит в создании инфраструктуры сетей, указанных выше в пунктах «а» - «е», оснащении их необходимой базой знаний, подборе персонала, обучении его определённой программному и управленческому комплексу. В результате будет создана возможность служить основой «умного орошаемого земледелия», адаптированного к изменению климата, обслуживающего определённую площадь, используемую фермерами и АВП по договору с данным комплексом.

В настоящее время основные принципы функционирования большей части этого комплекса разработаны, некоторые из них были апробированы в различных проектах и практиках (позиции a, b, c, d) и могут быть включены в общую систему работ после её завершения. В проекте требуется:

- адаптировать научные основы и методы программирования урожая к использованию инструментов дистанционного зондирования, имея в виду подобрать для каждого фактора выращивания урожая (состояние почвы и её обработки; обеспеченность удобрениями; водой; воздухом; теплом; питательными веществами и т.д) из имеющихся индексов спектрального анализа такие, которые будут служить показателями технологического совершенства и обеспеченности), как это выполняет индекс NDVI - для водообеспеченности. Понятно, что эта часть исследований, является наиболее кропотливой и важной частью научного обоснования данного метода и должна занять как минимум три года работ для того, чтобы добиться надёжных результатов связи факторов урожая - специфических индексов дистанцион-

ного зондирования. Параллельно должна проводиться работа по наземному определению факторов развития урожая, чтобы усилить ту базу данных и набор зависимостей, которые в этом направлении программирования урожая - была создана ранее. В качестве варианта развития этой части работ может быть также предусмотрено параллельное использование беспилотных аппаратов как альтернатива применению ДЗЗ.

- параллельно научной отработке решений дистанционного ведения программирования урожая и контроля над его осуществлением будет организован рабочий процесс сбора информации своей и партнёров:
 - систематическое (ежесуточное) снятие показателей климатической сети и обработка её данных с выдачей (корректировкой) декадного прогноза погоды;
 - поиск аналога и построение долговременного прогноза климатических явлений с прогнозом водопотребления и корректировкой графика водоподачи;
 - получение данных от мелиоративной службы о работе дренажных устройств и уровне грунтовых вод; учёт этих данных в прогнозе и расчёте водопотребления корректировкой участка грунтовых вод в подпитке растений; привлечение в случае дефицита воды коллекторных вод на орошение;
 - получение информации от спутниковых наблюдений раз в декаду для LANDSAT и SENTINEL, доведение её до сведения фермеров в случае получения сигналов о возникновении рисков в нарушении технологических операций или дефиците влаги;
 - осуществление периодического агрономического и ирригационного контроля наземных операций для накопления опыта и навыков работе со стейкхолдерами, а также для уточнения коэффициентов культур по методике ФАО.
- выработать порядок взаимодействия между всеми районными элементами предлагаемого комплекса с тем, чтобы достичь формирования автоматизированной системы управления агротехническим и ирригационным процессами и обеспечить создание наиболее благоприятных условий выращивания сельскохозяйственных культур на всей площади обслуживаемого массива.
- установить систему информационного обмена и доставки конечной информации до конечных пользователей (фермеров и АВП), при ко-

торой они смогут достигать намеченных высоких рубежей аграрной продукции.

Предполагается, что в рамках Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии и Межгосударственной комиссии устойчивого развития будет создан Руководящий комитет проекта, который в первый год займётся согласованием основных положений комплекса и его привязкой к национальным условиям. Эта привязка будет осуществляться в виде пилотных проектов адаптации «умного орошаемого земледелия» к условиям каждой страны в масштабах по одному выбранному району

1. Духовный В.А., Стулина Г.В., Нерозин С.А., Солодкий Г.Ф. Программирование урожая сельхозкультур, Ташкент, 2016. – 179 с.
2. Бондаренко И.Ф., Жуковский Е.Е. Моделирование продуктивности агроэко-систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 264 с.
3. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе “растение – почва – воздух”. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 385 с.
4. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкоэко-систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 164 с.
5. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические основы программирования урожая. – Л.: Гидрометеиздат”, 1980. – 316 с.

Верстка и дизайн: Беглов И.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz

www.wuemoca.net