



## Мониторинг динамики орошаемого рисоводства в Казалинском районе Кызылординской области Казахстана (1984-2017 гг.)

Ольга Дегтярева<sup>1</sup>, Надежда Муратова<sup>2</sup>, Виталий Сальников<sup>2</sup>, Микаэль Тиль<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Национальный центр космических исследований и технологий, Казахстан, 050010 Алматы, ул. Шевченко, 15;

<sup>2</sup>НИИ проблем экологии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, 050040 Алматы, пр-т аль-Фараби, 71;

<sup>3</sup>Отдел дистанционного зондирования, Институт географии и геологии, Вюрцбургский университет, ул. Освальд-Кюльпе-Вег, 86, 97074 Вюрцбург, Германия

\*для корреспонденции: [michael.thiel@uni-wuerzburg.de](mailto:michael.thiel@uni-wuerzburg.de)

Данная версия является переводом статьи « Monitoring of the irrigated rice production dynamic in the Kazalinsk region, Kazakhstan, from 1984-2017», опубликованной в журнале 26 ноября 2019 г.

MPHTI 68.31.02

doi: 10.29258/CAJWR/2019-R1.v5-2/23-50.rus

### Аннотация

*Ирригационная зона на территории Казалинского района Кызылординской области Республики Казахстана располагается в дальней концевой части низовья реки Сырдарья. Выработавшая свой ресурс система водоснабжения и широко распространенная деградация пахотных земель затрудняют местное сельскохозяйственное производство, фокусирующееся на рисоводстве. Настоящее исследование ставило своей целью изучить динамику развития производственной системы в указанном экологически неблагоприятной районе посредством составления и анализа кадастра сельскохозяйственного землепользования с особым вниманием к выращиванию риса. Для создания ежегодных графических рисовых масок (фильтров) Казалинского региона на основе изображений Landsat 1984-2017 гг. использовался неконтролируемый классификатор k-средних. При анализе пространственной структуры и тенденций интенсивности рисовых посевов и заброшенных земель использовались три индикатора, полученные в результате анализа изображений вышеупомянутых масок. Наконец, факторы выявленных пространственных закономерностей интенсивности рисовых посевов в течение 1984-2017 гг. были смоделированы по методу регрессионного анализа дерева. Проведенная кластеризация по рису на 91,6 % соответствовала независимым выборкам Google Earth 2004 и 2011 гг. За исследуемый период ежегодная площадь рисовых посевов сократилась с 20 737 до 10 828 га. Однако после 2004 г. соответствующая площадь увеличилась (5 015 га), а заброшенные поля подверглись рекультивации. Для целей рисоводства интенсивно использовались в основном те участки оросительной системы, где поля расположены в агломерациях. Данную практику можно рассматривать в качестве экономического способа снижения производственных затрат (издержек в связи с орошением, подготовкой полей и другими агротехническими мероприятиями) со стороны рисоводов. В дальнейшем предложенный подход можно использовать для картирования заброшенных*

---

*сельскохозяйственных полей, равно как и выявления факторов забрасывания (консервации) и рекультивации пахотных земель в регионе.*

**Ключевые слова:** интенсивность рисовых посевов, временные ряды дистанционного зондирования, изменение землепользования, анализ факторов, Казалинский район, бассейн Аральского моря.

**Тип статьи:** научно-исследовательская статья

## 1. Введение

Сельское хозяйство является одним из ведущих секторов экономики стран Центральной Азии (ЦА). Однако из-за хорошо изученных проблем деградации окружающей среды (например, засоления почв), а также социально-экономических и политических трансформаций после распада бывшего Советского Союза в 1991 году устойчивость сельскохозяйственного производства во всей Центральной Азии находится под угрозой (Gupta et al., 2009). В Казахстане переход от прежней системы госзакупок к более индивидуальной и рыночной системе привел к сокращению производства из-за отсутствия передовых технологий, опыта и средств. Из 91 млн гектаров (га) 40 % от общей площади Казахстана оборудовано для сельскохозяйственного производства (KDS, 2016). Сложные процессы, а именно: приватизация ранее принадлежавших государству земель и внедрение новых организационных структур для управления земельными ресурсами и доставки продукции, усугубили такие экологические проблемы, как деградация земель, эрозия почв и сокращение биоразнообразия, и привели к социальным изменениям, таким как пауперизация с последующей миграцией (Institute of Geography, 2010a). Это особенно актуально для орошаемых систем производства риса в низовьях р. Сырдарья в бассейне Аральского моря (БAM) (Qadir et al., 2009). Сообщалось о широко распространенной деградации земель, снижении производства и обширных площадях заброшенных сельскохозяйственных угодий (Löw et al., 2015). Таким образом, эти процессы угрожают сохранению рабочих мест в селах региона (Institute of Geography, 2010a). Мониторинг системы землепользования необходим для определения вариантов будущего устойчивого развития этих орошаемых нижележащих районов во внутренней части БAM, например, для внедрения наилучших методов управления с целью предотвращения дальнейшей деградации земель (Gupta et al., 2009). Детальное знание пространственно-временных закономерностей позволило бы раскрыть экологические и социально-экономические причины заброшенности земель в системах производства риса, расположенных ниже по течению в бассейне Сырдарьи, например, путем моделирования факторов местной динамики землепользования, таких как интенсивность посева риса; но в настоящее время они недоступны.

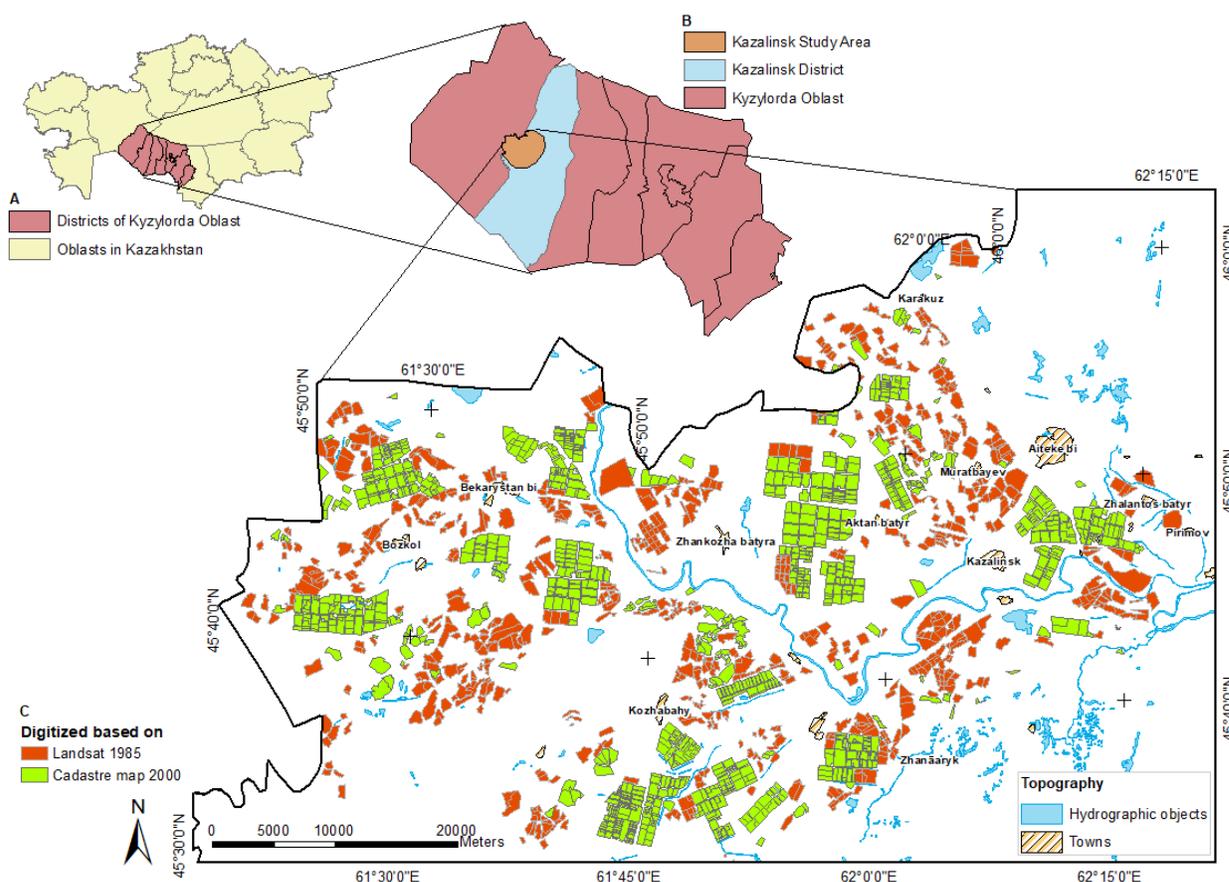
Значение риса для мировой продовольственной безопасности возрастает (Khush 2005; Elert 2014). Поэтому, а также ввиду возможности обнаружения рисовых посевов и мониторинга их роста (Künzer and Knauer, 2013), данные дистанционного зондирования всё чаще используются для мониторинга рисовых площадей в различных регионах (например, Gumma et al., 2011; Tian et al., 2018). В то время как в регионах, с преобладанием облачной погоды, таких как Юго-Восточная Азия, микроволновое зондирование может быть более полезным для обнаружения рисовых полей (Künzer and Knauer, 2013), засушливый или полусушливый климат с менее облачными атмосферными условиями в Центральной Азии позволяет использовать оптические данные для обнаружения сельскохозяйственных культур (например, Conrad et al., 2016a; Conrad et al., 2016b; Löw et al., 2015). Однако для обнаружения систем севооборота (Conrad et al., 2016b; Stefanski et al., 2014; Martinez-Casanovas et al.) и долгосрочных процессов, таких как деградация почв (Dubovik et al., 2013) или заброшенность пахотных земель (например, Estelle et al., 2015, Alcantara et al., 2012), требуются разновременные данные. Здесь, как недавно показали Prishchepov et al., (2012), свободно доступные архивы Landsat могут предоставить достаточные данные для локального мониторинга, например, для картирования отдельных полей. Однако, кроме первых попыток мониторинга системы землепользования в региональном масштабе (Conrad et al., 2016a; Löw et al., 2015), местные оценки систем производства риса и моделирование драйверов во внутренней части БАМ встречаются редко.

Данное исследование ориентировано на комплексный подход дистанционного зондирования, ГИС и моделирования для анализа временного развития рисоводства и пространственной структуры интенсивности посевов риса в Казалинском районе за последние три десятилетия. Согласно определению, данному Siebert et al. (2010), под интенсивностью посева риса понимается количество урожаев риса на определенном участке и за определенный период, например, количество урожаев риса на одном поле в течение многолетнего периода. В частности, ставятся следующие цели: (i) использование потенциала свободных архивов Landsat для мониторинга районов производства риса, (ii) выявление и анализ показателей временного развития моделей производства риса, и (iii) выявление факторов интенсивности посевов в период с 1984 по 2017 год. Предполагается, что проведенное исследование поможет выявить экологические и социально-экономические причины динамики землепользования в рисоводческих системах Сырдарьинской низменности.

## **2. Место исследования**

Для данного исследования в качестве исследуемой территории был выбран Казалинский район (рис. 1). Район входит в состав Кызылординской области, включает низовья системы орошаемого растениеводства вдоль реки Сырдарьи и расположен в бывшей прибрежной зоне Аральского моря. Казалинский район сильно страдает от

недостаточного снабжения оросительной водой. В 1996 году население района составляло примерно 74 300 человек (Goskomstat, 1996, цит. по Dangour et al., 2003). Среднегодовое количество осадков за последние 25 лет составило 123 мм. Среднемесячные температуры в этот период колеблются от  $-9,3^{\circ}\text{C}$  в январе до максимума  $27^{\circ}\text{C}$  в июле (World Bank, 2018). В Казалинске основной выращиваемой культурой является рис (Abuov et al., 1967). После распада бывшего Советского Союза в 1990-е годы произошло значительное сокращение производства риса из-за нехватки доступного оборудования, удобрений и финансовых ресурсов (Institute of Geography, 2010b). Следовательно, крестьяне были вынуждены отказаться от своих полей, зависящих от их возможностей. С 2003 года производство риса вновь возросло (KDS, 2009; KDS, 2013; KDS, 2014; KDS, 2015; KDS, 2016). По сравнению с абсолютным минимумом 2004 года (9 663 тонны) производство риса в 2016 году увеличилось примерно на 200 % и составило 29 768 тонн.



**Рисунок 1.** Обзор исследуемой области: (а) расположение Кызылординской области в Казахстане; (б) Казалинский район (исследуемый район) в Кызылординской области; (с) распределение оцифрованных сельскохозяйственных полей в Казалинском районе.

В последнее время основными проблемами для сельскохозяйственного производства в Казалинском районе являются ухудшение мелиоративного состояния земель и состояния ирригации и дренажа. Система севооборота играет ведущую роль в сельскохозяйственной деятельности и направлена на повышение урожайности риса и эффективное использование пахотных земель. В зависимости от почвенных условий региона, Abuov et al., (1967) рекомендуют севооборот по следующей схеме: люцерна смешивается с яровыми зерновыми в первый год, затем люцерна только в течение одного-двух лет, рис в течение двух лет, один год под паром и, наконец, рис в течение одного-двух лет (таблица I).

**Таблица I.** Схемы севооборота в Кызылординской области по Abuov et al. (1967)

Поля	Годы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Старые пахотные земли, сильно зараженные вредителями	Red	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Green	White
Луга, не зараженные вредителями	Red	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Green	Green
Плодородные земли с близким уровнем грунтовых вод	Red	Yellow	Green	Green	Blue	Green	White	White
Red Люцерна, смешанная с яровыми культурами	Yellow	Люцерна						
Green Рис	Blue	Залежь (мелиоративное поле)						

### 3. Материалы и методы

#### 3.1. Материалы

##### 3.1.1. Полевая кадастровая карта и вторичная информация

С 2000 года сельскохозяйственные поля оцифровываются на основе кадастровой карты масштаба 1:25000. Эта карта включает в себя типы землепользования "орошаемые земли" и "заброшенные земли", "пастбища" и "сенокосы". Экспертная визуальная интерпретация данных Landsat-5 TM позволила оцифровать поля, которые, очевидно, использовались до 2000 года и отсутствовали на вышеупомянутой кадастровой карте. В Кызылорде средняя площадь рисового поля составляет примерно 37 гектаров, в то время как отдельные поля могут легко занимать более 100 гектаров. Площадь полей колеблется от менее чем 1 га до максимума 511 га. Общая площадь сельскохозяйственных полей, показанных на кадастровой карте, составляет 30 720 га, а площадь, оцифрованная с помощью изображения Landsat, – 38 444 га, или 946 и 877

полей соответственно. Пространственное распределение всех полей, используемых для растениеводства на исследуемой территории с 1985 года, показано на рис. 1.

Дополнительные вторичные данные были получены для последующего моделирования факторов интенсивности посева риса. Дополнительные административные векторные данные о распределении населенных пунктов и речных линий были собраны в марте 2018 года с помощью OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)). Почвенные условия, которые считаются основными факторами, определяющими уровень сельскохозяйственного производства (Van Ittersum et al., 2013), были выведены из почвенной карты. Поскольку подробная информация о почве (например, об органических веществах, глубине или текстуре почвы) отсутствовала, типы почв, взятые из почвенной карты, считаются косвенными данными о почвенных условиях. Поэтому почвенная карта была замаскирована под размеры оцифрованных полей. Сельскохозяйственные поля присутствовали на двенадцати различных типах почв региона (таблица II). Для анализа эти типы почв были затем сгруппированы в четыре основные группы почв, встречающихся в Казалинске: почвы, пораженные водой, гидроморфные почвы, аридные почвы и почвы, пораженные солью, "г-пораженные" и "гидроморфные".

В таблице приведены агрегированные группы типов почв. Большинство полей в исследуемом районе относятся к двум почвенным группам: “подверженные воздействию воды” и “гидроморфные”.

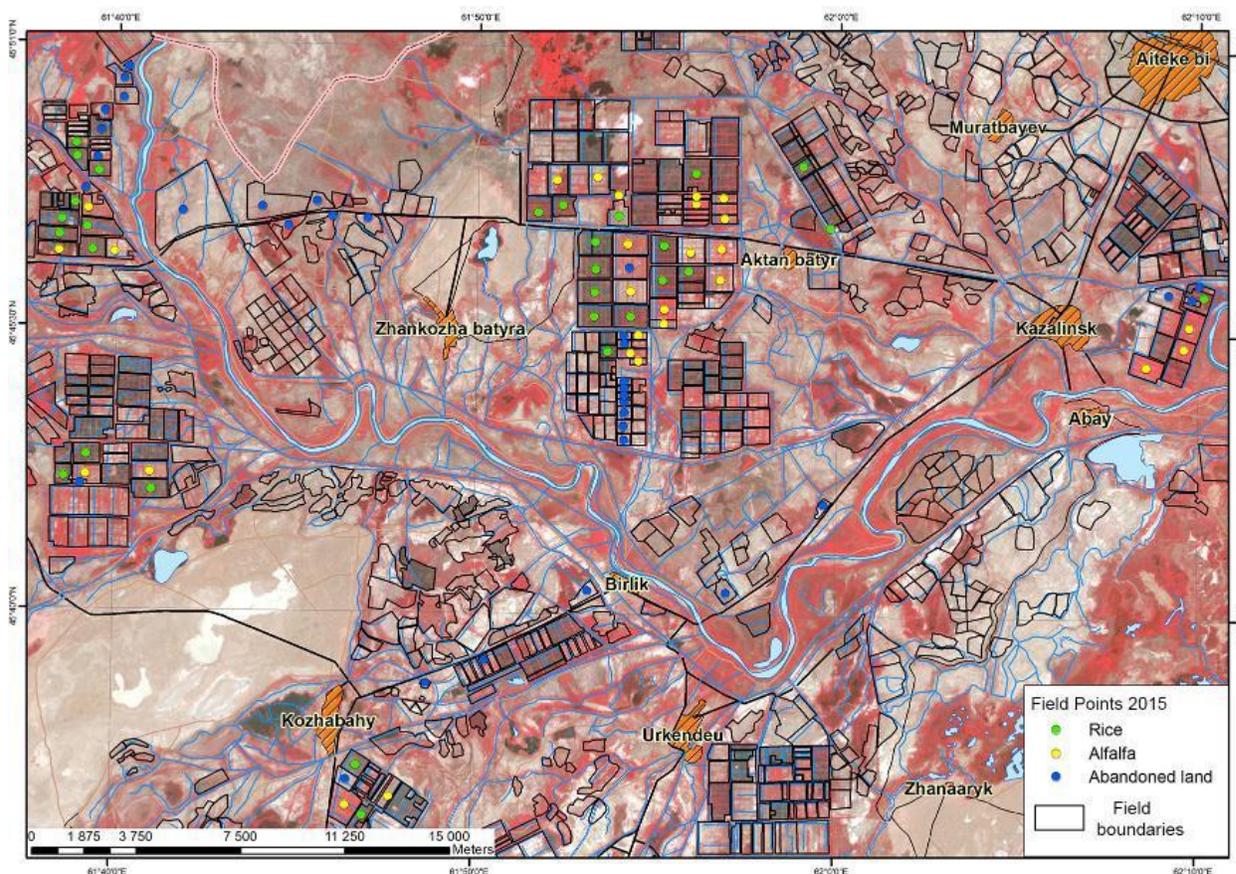
**Таблица II.** Типы почв и агрегированные типы почв, встречающиеся на сельскохозяйственных полях Казалинского района. По остальной территории (около 3000 га) по почвенной карте информации нет. Большое количество полей связано с тем, что некоторые поля содержат более одного типа почвы и поэтому учитываются дважды.

ИД	Тип почвы	Агрегированные типы почв	Зона покрытия
113	Аллювиальные луговые почвы	Почвы, подверженные воздействию воды (Почва1)	24,472 га (863 поля)
115	Аллювиально-луговые пустынные почвы		
120	Лугово-болотные пустынные почвы	Гидроморфные почвы (Почва2)	32,357 га (901 поле)
119	Лугово-болотные почвы		
118	Водно-болотные почвы		
117	Болотные почвы		

ИД	Тип почвы	Агрегированные типы почв	Зона покрытия
104	Серо-бурые пустынные почвы	Засушливые почвы (Почва3)	527 га (28 полей)
133	Бугристые, слегка заросшие, слабо карбонатные пески бурых пустынно-степных почв		
121	Солончаки типичные	Засоленные почвы (Почва4)	2,803 га (102 поля)
124	Солончаки пульсирующие		
125	Солончаки соленые		
109	Такировидные солончаковатые почвы		

### 3.1.2. Полевая выборка

Полевые исследования проводились дважды в год в период с 2015 по 2017 год. Один раз во время посева, один раз во время сбора урожая. Всего было обследовано 96 полей. Первоначально использование полей было разграничено между (i) рисом как основной культурой в регионе, (ii) люцерной, которая используется в паровые периоды рисового поля, и (iii) заброшенными полями. Заброшенное поле определяется как не используемое для производства риса в течение пяти лет подряд. В 2015 году было обследовано 38 рисовых полей, 28 полей люцерны и 30 заброшенных полей (Рисунок 2). Для дальнейшего анализа классы "люцерна" и "заброшенная земля" были объединены в класс "отсутствие посева риса", что соответствует общей цели данного исследования и объясняется фактом спектрального сходства между этими двумя классами (Leo et al., 2015).



**Рисунок 2.** Пространственное распределение данных наземной истины. Точки показывают распределение и использование полей, которые были посещены для наземной истины в Казалинске в 2015 году. Эти же поля были посещены в 2016 и 2017 годах.

Текущая информация о фазах посева риса была получена в ходе интервью с фермерами Казалинского района. Рис обычно выращивают с мая по октябрь. Поля затопляются в начале сезона (в мае). Посевы появляются ниже поверхности воды (то есть на уровне затопления). В середине сезона (в июне и июле) посевы растут выше уровня затопления. В фазе зрелости (в конце сезона, август/сентябрь/октябрь) полог растений закрывается, растения желтеют, и урожай собирают. Данное описание стадий роста послужило основой для определения необходимых периодов сбора данных дистанционного зондирования.

### 3.1.3. Данные дистанционного зондирования

За каждый год в период исследования с 1984 по 2017 год с сервера данных EarthExplorer Геологической службы США (USGS) были загружены три безоблачных снимка Landsat за вегетационный период (май – октябрь). (USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>). Таким образом, база данных дистанционного

зондирования состоит из изображений с датчиков Landsat Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) и Operational Land Imager (OLI). Спутниковые данные Landsat-8 – за период с 2013 по 2017 год, данные Landsat-7 ETM+ – за 1999, 2006, 2009 и 2012 годы, а также данные Landsat-4/5 TM – за остальные годы. Там, где это было возможно, было выбрано по одному изображению для каждого вегетационного периода начала, середины и конца сезона (таблица III). Для охвата всей исследуемой территории был получен только один набор данных из-за его расположения в одной грануле (колонка 160, ряд 28) Всемирной справочной системы-2 (WRS-2).

Данные за 1985, 1995 и 1997 годы отсутствуют. Впоследствии полный анализ провести не удалось, что действительно снижает неопределенность результатов, но лишь в незначительной степени, поскольку отсутствовало всего 3 из 34. Для составления карты рисоводческой зоны было проанализировано в общей сложности 84 снимка Landsat.

**Таблица III.** Даты получения собранных снимков Landsat для Казалинском районе

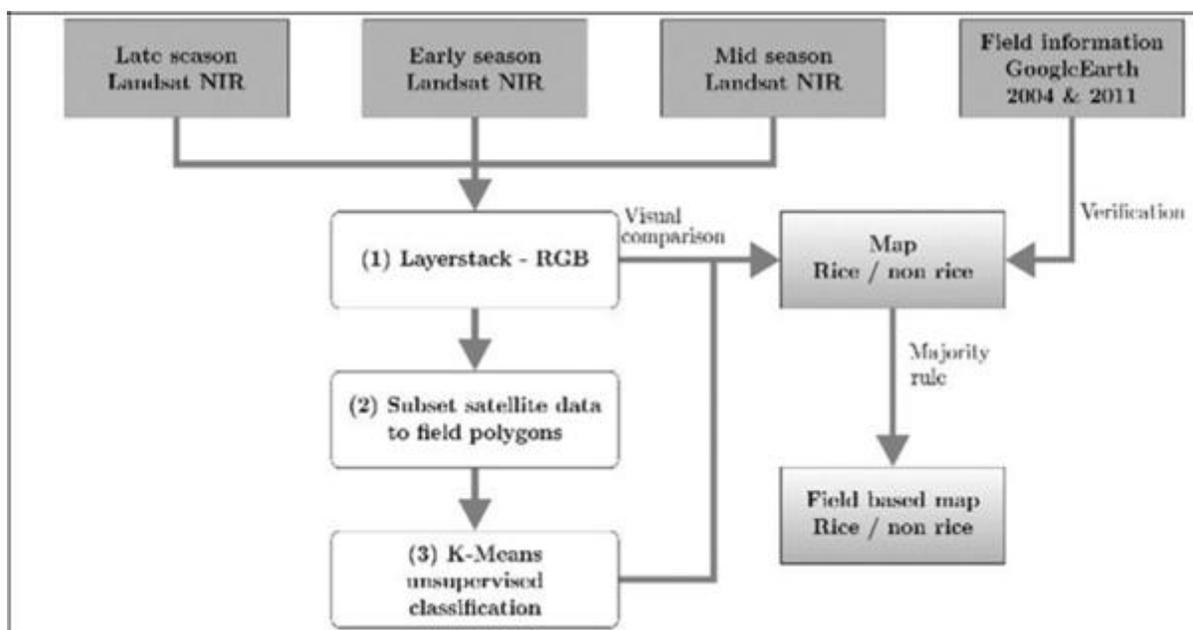
Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
	начало сезона	середина сезона		конец сезона		
1984	15.5	–	2.7	–	–	–
1986	21.5	06.06 и 22.06		–	–	–
1987	24.5	25.6	11.7	–	–	–
1988	–	3.6	05.07 и 21.07		–	–
1989	28.5	–	14.7	1.8	–	–
1990	–	–	–	20.8	–	–
1991	2.5	20.6	–	–	–	–
1992	–	22.6	–	07.08 и 09.08		–
1993	–	11.6	–	12.08 и 28.08		–
1994	–	12.6	–	31.8	–	2.10
1996	14.5	3.6	–	4.8	–	–
1998	–	25.6	–	–	–	–
1999	–	–	–	5.8	11.9	8.10
2000	26.5	–	22.7	–	–	10.10
2001	–	–	7.7	26.8	–	29.10
2002	–	26.6	12.7	13.8		
2003	–	16.6	–	–	1.9	3.10
2004	30.5	15.6	–	18.8	–	–
2005	17.5	3.6	–	5.8	–	–
2006	–	5.6	7.7	8.8	–	–

2007	30.5	16.6	–	3.8	–	–
2008	–	02.06 и 18.06	20.7	–	–	–
2009	28.5	13.06 и 29.06	–	–	–	–
2010	23.5	24.6	–	11.8	–	–
2011	26.5	–	13.7	–	15.9	–
2012	–	5.6	07.07 и 23.07	–	–	–
2013	–	16.6	18.7	19.8	–	–
2014	–	03.06 и 19.06	–	22.8	–	–
2015	–	22.6	24.7	25.8	–	–
2016	–	08.06 и 24.06	–	11.8	–	–
2017	10.5	27.6	–	–	15.9	–

### 3.2. Методология

Данное исследование состоит из двух основных методологических этапов: (i) получение динамики площадей посевов риса за период с 1984 по 2017 год на основе неконтролируемой классификации многовременных изображений Landsat (Раздел 0); (ii) выявление факторов пространственно-временного распределения моделей посевов риса .

#### 3.2.1. Анализ динамики посевных площадей риса



**Рисунок 3.** Рабочий процесс для картографирования рисовых полей, применяемый для каждого года в исследуемый период

Landsat NIR – Landsat БИК; Late season – конец сезона; Early season – начало сезона; Midseason – середина сезона; Field information GoogleEarth 2004 & 2011 – информация GoogleEarth для поля 2004 и 2011 гг.; Layer Stack-RGB – стек слоев-КЗС; Subset Satellite data to field polygons –

подмножество спутниковых данных для полевых полигонов; k-Means unsupervised classification – k-средние неконтролируемой классификации; Map Rice/non rice – карта рис/не-рис; Field based map Rice/non rice – поле на основе карты рис/не-рис; Verification – верификация (проверка); Visual comparison – визуальное сравнение; Majority rule – правило большинства.

На рис. 3 показан методический процесс картографирования динамики орошаемых рисовых площадей с 1984 по 2017 год. На основе каждого из трех наборов данных Landsat в год создавался новый набор данных с использованием полос от 1 до 3 в ближнем инфракрасном спектре (БИК). Это было сделано для начала, середины и конца сезона соответственно (см. таблицу III). Этот стек слоев был обрезан и замаскирован под полевые полигоны (см. рис. 1). В течение многих лет, когда не все сезоны могли быть покрыты безоблачными данными Landsat, мы составляли стек слоев в соответствии со следующими правилами, учитывающими даты получения и количество доступных изображений Landsat:

- (i) В годы, когда данные спутника Landsat по одному или двум из трех сезонов отсутствовали, но все же имелось не менее трех наборов данных за вегетационный период, была выбрана информация БИК по трем изображениям, показывающим наибольшую разницу в дате получения. Здесь комбинация полос (полосы 1-3) стека следовала за датами получения в порядке возрастания (рис. 4а).
- (ii) В годы, когда за весь вегетационный период было имелось только два изображения со спутника Landsat, мы дублировали информацию БИК второго набора данных (полосы 2 и 3). Полоса 1 содержит информацию БИК по снимку начала сезона (на рис. 4b показан пример 1991 года).
- (iii) В 1990 году в течение вегетационного периода было доступно только одно изображение Landsat. В этом случае стек слоев состоял из коротковолнового инфракрасного канала 2 (КИК-2) в качестве полосы 1, КИК-1 в качестве полосы 2 и БИК в качестве полосы 3 (рис. 4с).

В классификации был применен неконтролируемый метод кластеризации k-средних (Tou and Gonzalez, 1974), использующий максимум пять итераций и три класса (ENVI 5.1). Маркировка классов была возможна путем сравнения результатов классификации с описанными выше композитами ложного цвета соответствующего года, подкрепленными полевой информацией, доступной за 2015–2017 годы. В начале вегетационного периода рисовые поля орошаются водой. Только в последнем периоде середины сезона и в конце сезона посевы риса растут выше уровня затопления. Таким образом, отражение БИК в начале и середине сезона является низким, а в конце сезона – очень высоким. Поля без производства риса в соответствующем году не орошаются. Таким образом, отражательная способность в диапазоне БИК показывает лишь

незначительные различия в течение года. Соответственно, рисовые поля появляются в голубоватых цветах в композитах RGB (КЗС) (рис. 4а) и позволяют легко распознавать не-рисовые поля. Из трех неконтролируемых классов те, что покрывают эти голубоватые поля, относятся к классу риса. Поскольку спектральные сигнатуры люцерны и заброшенных полей одинаковы на протяжении всего цикла посева, дальнейшее разделение не-рисовых полей было невозможным. Löw et al., (2015) сообщили о подобных наблюдениях.



**Рисунок 4.** Примеры композитных изображений Landsat БИК; (а) 2013 год, когда имелось три изображения, (б) 1991 год, когда было доступно только два изображения, слой БИК более позднего изображения используется дважды в качестве второго и третьего диапазона, (с) 1990 год, когда было доступно только одно изображение, классификация была основана на диапазонах 7, 5, 4.

Результаты классификации пикселей показывают типичный "эффект соли и перца" (рис. 5b). Однако полевые исследования показали, что поле либо используется для выращивания риса полностью, либо не используется вовсе. Таким образом, для каждого поля применялось правило большинства. Каждый полигон поля получил метку класса, покрывающую большую часть поля. Соответственно, поля, которые отображали 50 % или более пикселей риса, были полностью классифицированы как рисовые поля (рис. 5b/c). В результате атрибутивная таблица полевых полигональных данных состояла из одного столбца в год ( $v_y$ ), где "1" и "0" указывали, выращивался ли рис на поле или нет, соответственно. Большая часть последующего анализа основана на этой атрибутивной таблице, которая содержит временные ряды ( $T_{SV}$ ) использования риса для каждого поля.



**Рисунок 5.** Пример процесса классификации. Подмножество RGB-композиата, показывающего ферму Актан Батыр (а); результат классификации пикселей  $k$ -средних (b) и окончательную рисовую маску (с), полученную путем применения правила большинства.

Точная оценка прошлого землепользования является общеизвестной сложной проблемой. Подробная информация об использовании полей в прошлом отсутствует или не является достоверной. В последние годы GoogleEarth (GE) и, в частности, интегрированные системы исторических данных стали общим независимым источником визуальных сравнений. Для некоторых частей исследуемой области исторические данные GE предоставляют изображения с высоким пространственным разрешением за 2004 и 2011 год (Image © DigitalGlobe). Эти данные использовались в качестве независимого источника для оценки точности, которая, в свою очередь, проводилась в соответствии с Congalton (1991). За оба года мы обнаружили 202 поля с четко разделенными классами “рис” и “не-рис” (118 полей в 2004 году и 84 поля в 2011 году, соответственно). Тот факт, что рисовые поля в Казалинске структурированы в чеки с дамбами, частично покрытыми кустарником, ограничивает количество различных в GE видов землепользования.

Для верификации самых последних частей временных рядов площади производства риса период временных рядов с 2003 по 2016 год был сопоставлен с развитием статистики производства за те же годы, предоставленной Кызылординским департаментом статистики (KDS, 2009; KDS, 2013; KDS, 2014; KDS, 2015; KDS, 2016).

На основе полученной атрибутивной таблицы были выведены три показателя, характеризующие развитие рисовых площадей в исследуемом районе. Чтобы выяснить, используется ли поле по-прежнему для производства риса или нет, для каждого поля был выведен последний год выращивания риса ( $L_R$ ) в качестве потенциального показателя заброшенности земель (1).

$$L_R = \max(y_{i|rice}) | y \in \{1984, 2017\}, \quad (1)$$

где  $i$  – идентификатор для каждого отдельного поля в исследуемой области.

В качестве второго показателя – частоты посева риса ( $F_R$ ) выделяют поля, которые фермеры предпочитают для производства риса.

Третий показатель направлен на обеспечение тренда 5-летней интенсивности посева риса в поле ( $I_R$ ), который определяется как 5-летняя скользящая средняя использования риса на поле (2). Таким образом, значения  $I_{R,y}$  колеблются между “1” для полей, которые использовались для выращивания риса в течение пяти лет подряд, и “0” для полей, которые никогда не использовались для выращивания риса в течение пяти лет. Благодаря 5-летней скользящей средней результирующий сглаженный временной ряд сокращается на 4 года (1984, 1986, 2016 и 2017).

$$I_{R,y} = \frac{\sum_{j=-2}^2 (v_{y+j})}{5} | y \in \{1987, 2015\}, \quad (2)$$

где  $v_u$ , указывающий на использование поля в год  $u$ , где рис 1, а не рис 0.  $I_R$  тренд показывает развитие специфики производственной отрасли. В таблице IV обобщены три показателя.

**Таблица IV.** Обзор разработанных показателей развития землепользования

Индикатор	Описание
Последний год выращивания риса ( $L_R$ )	Указывает места, все еще находящиеся в производстве, или заброшены (период наблюдения 1984–2017 гг.)
Частота выращивания риса 1984–2017 гг. ( $F_R$ )	Показывает интенсивность посевов риса в 1984–2017 гг. Предполагается, что умеренно интенсивно используемые места указывают на хороший доступ к воде, снижение деградации и хорошо организованное управление. Напротив, больше рисовых лет, чем может быть достигнуто с помощью рекомендаций, указывают на чрезмерное использование земельных ресурсов (т. е. соответствующего поля).
Линейный тренд интенсивности выращивания риса в течение пяти лет – 1984–2017 гг. ( $I_R$ )	Тенденция пятилетней скользящей средней интенсивности выращивания риса. Позволяет определить сокращение или повторное использование продукции на конкретных полях.

Кроме того, временной ряд общей площади риса ( $T_{SR}$ ) был построен путем вычисления суммы ( $A_y$ ) площади ( $A$ ) всех полей, где рис был выращен в определенном году ( $y$ ) (3).

$$A_y = \sum_{i=0}^n A_{i|rice} \mid y \in \{1987, \dots, 2017\}, \quad (3)$$

где  $n$  – это общее число оцифрованных полей, то есть 1823 поля в данном исследовании.

### 3.2.2. Моделирование факторов пространственной интенсивности выращивания риса

Целью моделирующего подхода является выявление факторов пространственного распределения интенсивности посева риса в 1984–2017 гг., которое выражается с помощью  $F_R$ . Поскольку доступность данных в исследуемом регионе невелика, анализ драйверов фокусируется на показателях, полученных на основе имеющихся данных. Эти показатели включают размер поля в  $m^2$  ("Shape\_Area"), плотность поля ("density"), т. е. площадь посевных полей в пределах сетки 5 км \* 5 км, почвенные условия поля выражаются через агрегированный тип почвы ("r-пораженный" и "гидроморфный"), а также расстояние до реки ("DistRiv") и до ближайших населенных пунктов (DistTown") (Таблица V). Почвенные условия являются номинальной переменной и, таким образом, делятся на четыре бинарные переменные (от "Soil1" до "Soil4" / от "Почва1" до "Почва4"). Индикаторы "Shape\_Area", "плотность" ("density") и "DistTown" служат прокси для полевых подготовительных работ. Предполагается, что обширные поля и близость к другим полям благоприятны для полевых работ, так как техника может быть использована позже на соседних полях, то есть на больших площадях без перерыва. Кроме того, "DistTown" также описывает доступ фермеров к инфраструктуре, например, для обслуживания техники. Тип почвы служит косвенным показателем состояния почвы и влияния засоления почвы. Для интеграции информации о почве по каждому полю были определены четыре параметра почвы: Почва1, Почва2, Почва3, Почва4 (Soil1, Soil2, Soil3, Soil4) (сравните таблицу II). Для каждого из параметров каждому полю было присвоено значение либо 1, либо 0, независимо от того, появляется ли агрегированный тип почвы на поле (1) или нет (0). Например, для поля, содержащего только "болотные почвы" (ID: 117), значения параметров Почва1, Почва2, Почва3 и Почва4 будут равны 0, 1, 0 и 0 соответственно (см. таблицу II). DistRiv опосредует доступ к оросительной воде и усилия по ее доставке на поля. Здесь предполагается, что чем ближе поле расположено к реке, тем дешевле доступ к воде.

**Таблица V.** Объясняющие переменные (индикаторы) для анализа дерева классификации и регрессии (CART) частоты возделывания поля

<b>Объясняющая переменная (индикатор)</b>	<b>Описание</b>
Площадь поля (м <sup>2</sup> ) ("Shape_Area")	Указывает на область, которая может быть подготовлена за определенный период времени.
Плотность поля (га/2500 га) ("density")	Сельскохозяйственные поля на площади в пределах 2500 га. Указывает на усилия по орошению на уровне поля
Состояние почвы (0 или 1) (Почва1, Почва2, Почва3, Почва4)	Показатель пригодности почвы для орошения и качества почвы, сравнить "г-воздействие" и "гидроморфность".
Ближайшее расстояние до реки (м) (DistRiv)	Указывает на регулярность доступа к оросительной воде и экономические усилия по орошению.
Ближайшее расстояние до населенного пункта (м) (DistTown)	Доступ к инфраструктуре/транспортным узлам и рабочей силе.

Моделирование драйверов проводилось с использованием регрессионных деревьев, описанных Breiman et al., (1984) и реализованных в пакете TREE в статистическом программном обеспечении R (R Development Core Team, 2012). RTs основан на рекурсивном методе секционирования. Таким образом, выборки (здесь: поля) делятся на узлы, описывающие один участок диапазона значений. Конечные разбиения делят узлы на так называемые листья, конечные классы (в регрессионном анализе: уровни значений целевой переменной). Каждое разделение оптимизируется путем тестирования всех возможных пар переменных и порогов, и определения минимума квадратичной ошибки, оставшейся после разделения.

#### **4. Результаты и обсуждение**

##### *4.1. Валидация карт посевов риса*

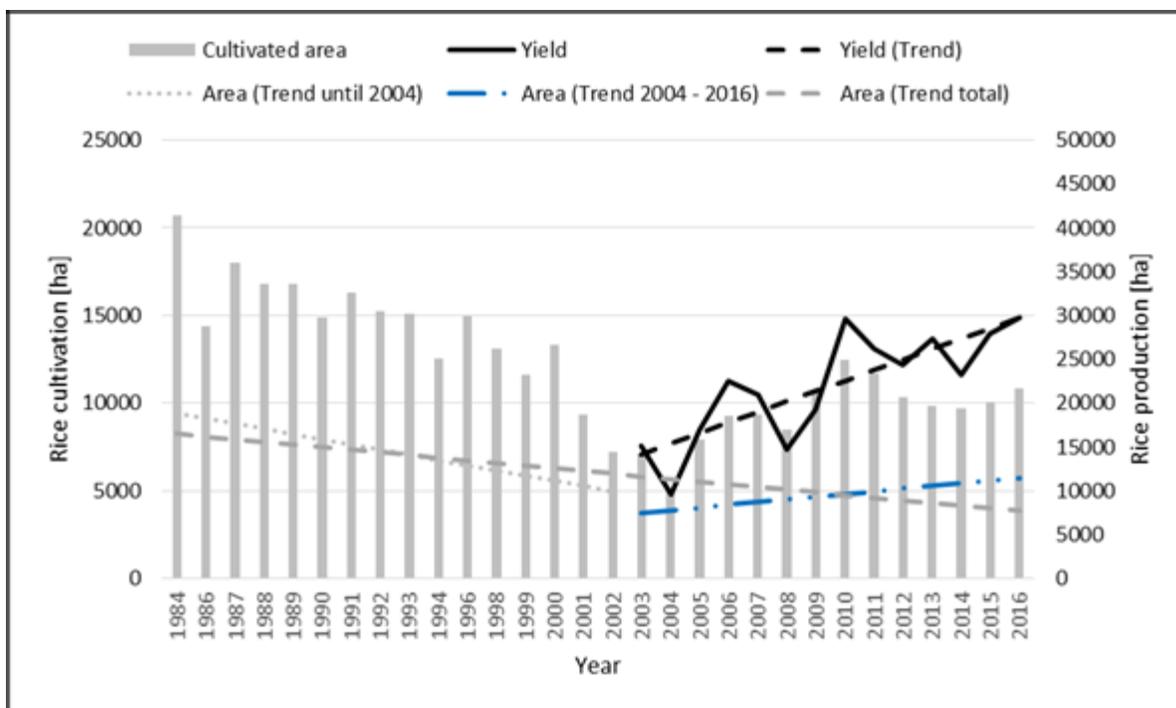
Точность площади рисовой маски за 2004 и 2011 годы по результатам теста Google Earth составляет 91,6 % (88,1 % за 2004 г. и 96,4 % за 2011 г.). Эти уровни точности соответствуют предыдущим картографическим работам в Кызылординской области (Löw et al., 2015). С точки зрения классификации показано, что в относительно простой агросистеме Казалинска с двумя классами (рис и не-рис) неконтролируемыми методами являются алгоритмы поиска, которые не обладают точным

картографированием сельскохозяйственных культур. Этот аспект, наряду с качественной информацией за 2004 и 2011 годы, подчеркивает расширенную обоснованность подхода также и в те годы, когда полевая информация была недоступна. В таблице VI суммируется оценка точности. Несмотря на значительную согласованность, матрица ошибок (нижняя часть таблицы VI) указывает на то, что представленная методология имеет тенденцию несколько завышать количество полей, используемых для производства риса.

**Таблица VI.** Оценка точности карт землепользования

Год	Правильный рис	Ложный рис	Ложный не-рис	Правильный не-рис	Сумма правильных	Сумма ложных
2004	30	12	2	74	104	14
2011	37	0	3	44	81	3
<b>Всего: 91,6 %</b>						
<b>2004 г. и 2011 г. всего:</b>						
<b>Наземная проверка</b>						
Классификация		Не-рис	Рис	Сумма		
	Не-рис	118	5	123		
	Рис	12	67	79		
	Сумма	130	72	185		

Еще один показатель обоснованности представленного подхода можно увидеть при сравнении посевных площадей риса в год и официальной статистики производства. Хорошее совпадение между обеими переменными – площадью риса, полученной по данным Landsat, и производством риса в Казалинске – можно наблюдать в период с 2003 по 2016 год (раздел 0).



**Рисунок 6.** Общая площадь посевов риса ( $T_R$ ) в год на Казалинском исследуемом участке (в виде серых прямоугольников) за период с 1984 по 2016 год и соответствующее производство риса, полученное из официальной статистики (черная линия), с 2003 по 2016 год.

#### 4.2. Развитие рисоводства в Казалинске в 1984–2017 гг.

Временные ряды рисовых площадей показывает тенденцию к снижению. С 1984 по 2017 год посевные площади риса сократились с 20 737 га до 10 828 га соответственно. Это равно среднегодовому сокращению на 309 га. Общая тенденция снижения интенсивности посева риса подтверждает ожидаемое развитие заброшенных пахотных земель в низовьях ирригационных систем реки Сырдарья, где производство риса доминировало на посевных площадях на протяжении последних десятилетий (Qadir et al., 2009; Löw et al., 2015). Однако в период после 2000 года ситуация несколько изменилась, и в анализируемых массивах данных появилось повторное использование пахотных земель для выращивания риса. В 2004 году фермеры в исследуемом районе возделывали рис только на 5 015 га, по крайней мере, за исследуемый период. Впоследствии площадь риса снова увеличивалась в среднем на ~484 га в год до 2016 года, с временным максимумом в 2010 году в 12 457 га. Таким образом, увеличение площади риса происходит медленнее, чем сокращение в период с 1984 по 2004 год, которое в среднем составляло ~749 га в год.

На рис. 7 представлена сводная информация о встречаемости посевов риса на каждом поле (показатель  $F_R$ ), измеренном в гектарах. На большинстве полей в Казалинске производство риса происходило в период от 8 до 15 лет в течение изученных 33 лет и, следовательно, в соответствии с официальными рекомендациями

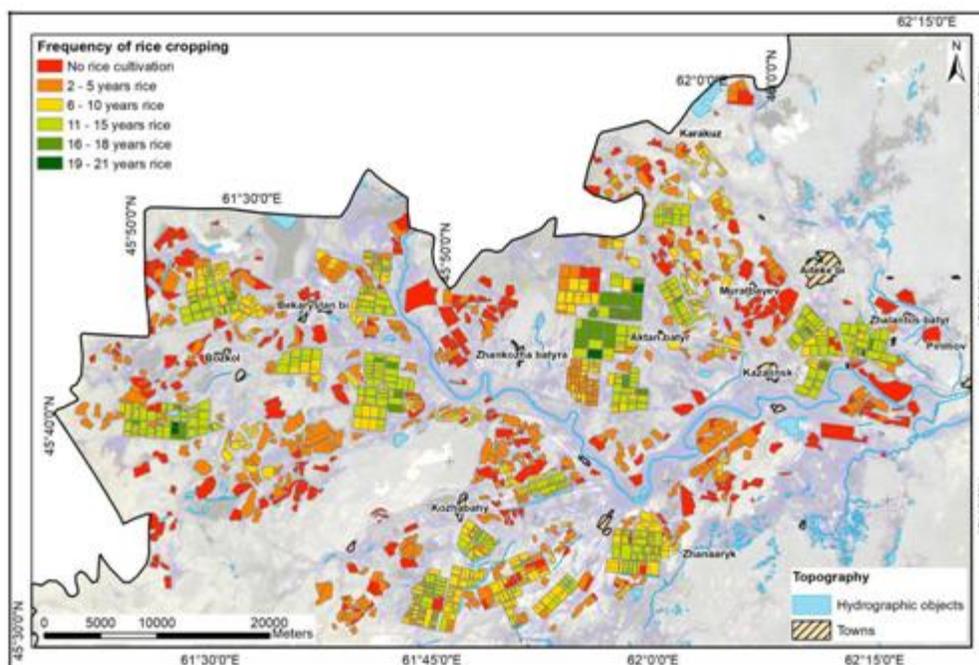
по почвенным условиям Казалинска (см. раздел 0, Abuov et al., 1967). Выбросы, например, в более интенсивные моносекевенции риса, которые, как было замечено, все еще существуют для незначительной части хлопкового производства Узбекистана (Conrad et al., 2016b), относительно редки. Только несколько полей используются для посева риса только 2–5 раз в течение периода наблюдения. Последнее можно оценить по крайней мере, как экономически критическое из-за затрат, связанных с ирригационной инфраструктурой; однако его можно также отнести к полям, которые интенсивно использовались до 1984 года и которые сильно деградировали в то время.



**Рисунок 7.** Гистограмма интенсивности посева риса (здесь: частота посева риса) за период 1984–2017 гг. в Казалинском районе, в га

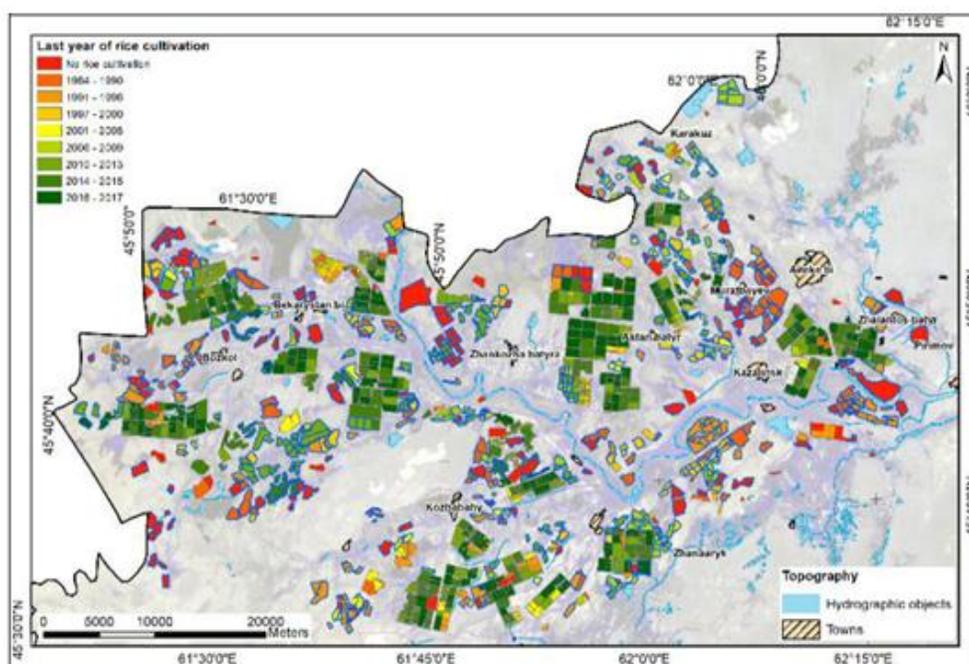
#### 4.3. Пространственное распределение показателей и тенденций развития посева риса

Интенсивность посева риса в расчете на одно поле в 1984–2017 гг. (индикатор  $F_R$ ) показана на рис. 8. В основном нерегулярно сформированные поля, которые часто не включены в кадастровую карту 2000 года, очень редко используются для производства риса (красный и оранжевый цвета). Другие поля, которые только иногда используются для производства риса, либо малы, либо расположены в более высоких фрагментированных/отдаленных частях исследуемой области. Согласно севообороту, рекомендованному Abuov et al. (1967; Таблица), более 91 % полей используется под рис менее чем за 16 лет. Для некоторых полей массива Актанбатыр (расположенных к востоку от центра на рис. 8), становится очевидным, что рекомендуемый севооборот не применяется, так как многие из этих полей используются для производства риса с большей частотой, чем рекомендовано, более 15 из 33 лет исследуемого периода.

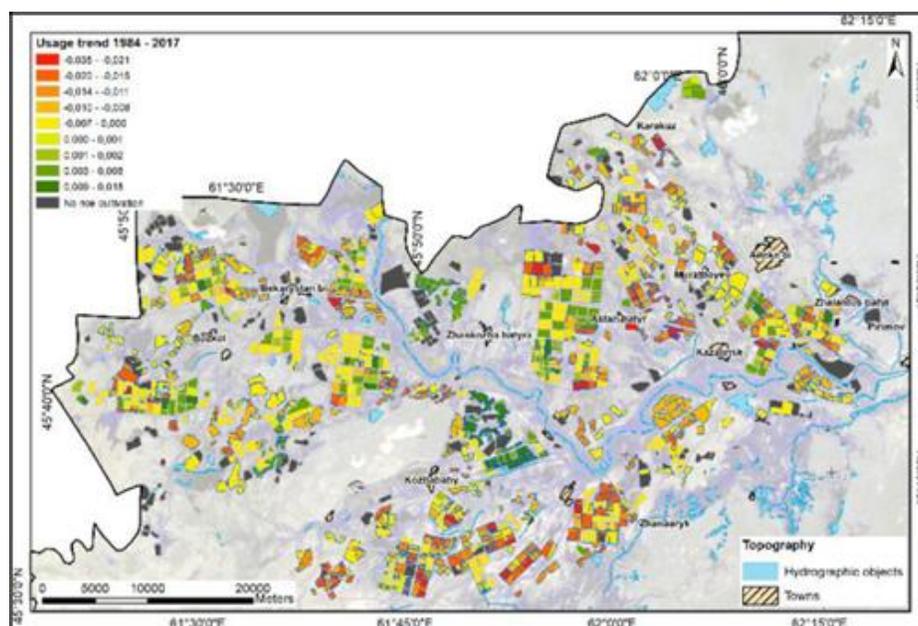


**Рисунок 8.** Частота посева риса ( $F_R$ ) с 1984 по 2017 год. Фон демонстрирует подкласс изображения Landsat за июнь 2015 года в виде составного ложного цвета (RGB: 5-4-3) с прозрачностью 70 %.

На рис. 9 показано пространственное распределение последнего года выращивания риса ( $L_R$ ). Для лучшего сравнения те поля, которые были оцифрованы по данным Landsat, выделены синими контурами. Красные цвета указывают на поля, которые не использовались для выращивания риса по крайней мере с 2000 года. Отметим, что 325 из 877 полей (37,1 %), отсутствующих на кадастровой карте, были использованы для производства риса после внедрения кадастровой карты в 2000 году. С одной стороны, это ставит под сомнение качество официальных наборов данных, которые можно наблюдать по всей Центральной Азии (Unger-Shayesteh et al., 2015). Можно также предположить, что эти поля ранее использовались для выполнения государственного заказа по производству риса во времена Советского Союза и до сих пор после приватизации в Казахстане находятся в неофициальном пользовании. Напротив, из 946 полей на кадастровой карте 128 (13,5 %) никогда не использовались для выращивания риса после 2000 года. Большинство полей, которые никогда не использовались для орошения с 1984 года или были заброшены до 2000 года, расположены на изолированных участках, а не в связанных комплексах. Это можно объяснить затратными ирригационными работами, т. е. обслуживанием каналов в таких местах.



**Рисунок 9.** Последний год посева риса ( $L_R$ ) на орошаемых полях в Казалинске 1984–2017 гг. Синие контуры обозначают поля, отсутствующие на кадастровой карте 2000 года. На заднем плане находится подкласс изображения Landsat-8 OLI, записанного 22 июня 2015 года в виде псевдоцветного композита (RGB: 5-4-3) с прозрачностью 70 %.



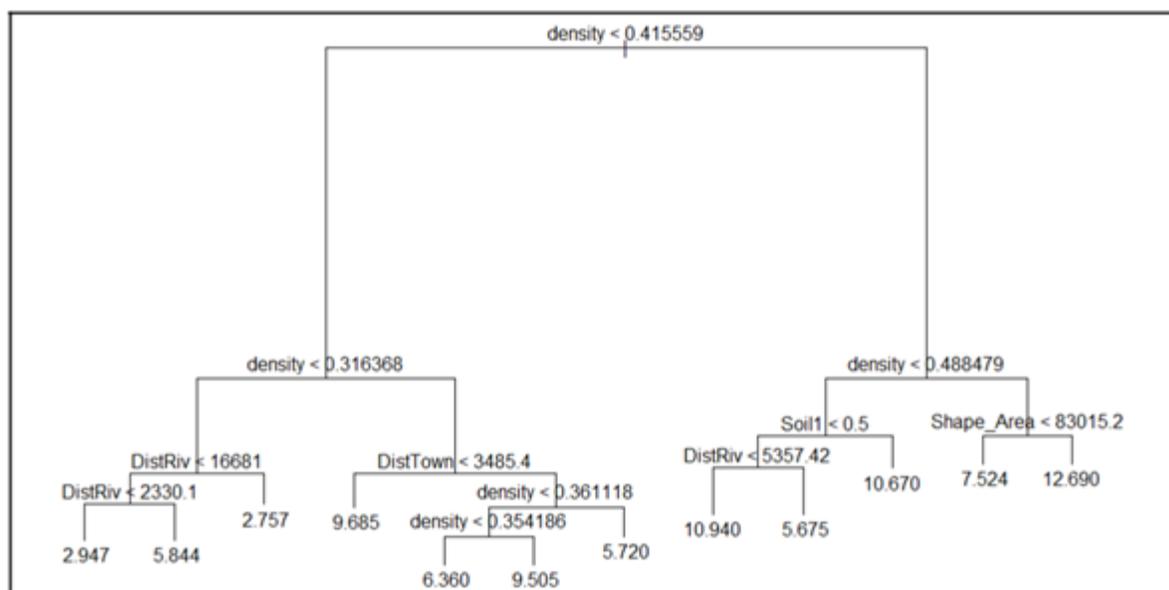
**Рисунок 10.** Линейный тренд пятилетней интенсивности посева риса за 1984–2017 гг. ( $I_R$ ). Поля с синими контурами демонстрируют значимые тенденции, то есть вероятность ошибки составляет менее 5 % ( $P < 0,05$ ).

На рис. 10 показано, что на большинстве полей наблюдалась линейная тенденция снижения интенсивности посева риса за пятилетний период 1984–2017 гг. ( $I_R$ ; желто-красный), но на некоторых полях также наблюдалась тенденция к незначительному усилению (от светло-зеленого до средне-зеленого цвета). Сильные нисходящие тенденции наблюдаются в основном в южной части исследуемого района к западу от села Жанаарык (см. рис. 10). Поля, имеющие тенденцию к увеличению, появляются по всей исследуемой территории, но в основном в центральной части вокруг поселения Жанкожа Батыр. Половина анализируемых полей (914) показала значительные тенденции. На рис. 10 поля со значимым трендом (вероятность ошибки  $< 0,05$ ) выделены синим цветом.

#### *4.4. Факторы пространственной интенсивности посева риса в Казалинске*

Дерево поиска решений объясняло 38,6 % дисперсии частоты посева риса в 1984–2017 гг. ( $F_R$ ), выраженной коэффициентом детерминации ( $R^2$ ) 0,386. Одна из причин относительного объяснения модели, безусловно, может быть связана с тем, что в БАМ (Dubovuk et al. 2013) отсутствовали некоторые экологические параметры, такие как засоленность почвы, которые, как хорошо известно, являются движущими факторами деградации земель и заброшенности пахотных земель. К ним относятся засоленность почвы и грунтовых вод или наличие и функционирование дренажной системы (Funakawa et al., 2000). Кроме того, с социально-экономической стороны, имеющиеся вторичные данные позволяют вывести лишь немногие и очень грубые показатели, объясняющие структуру посева риса в регионе. Демографическая информация, состояние техники, количество ресурсов для выращивания риса (удобрения, вода, пестициды) или экономический потенциал фермеров отсутствовали и, скорее всего, не могли быть заменены расстояниями полей до населенных пунктов "DistTown" или до реки "DistRiv".

Дерево регрессии (рис. 11) показывает, что наиболее релевантные решения, возникающие в верхней части дерева, связаны с полем индикатора "плотность". Кроме того, в нижних узлах дерева регрессии увеличение расстояния от реки ("DistRiv") или населенных пунктов ("DistTown") снижало вероятность посева риса. Влияние почв можно игнорировать, так как в качестве критерия разделения на третьем уровне дерева выбираются только почвы, подверженные воздействию воды ("Soil1"/"Почва1"). Модель не оказала никакого влияния на другие типы почв.



**Рисунок 11.** Классификационное и регрессионное дерево, используемое для объяснения частоты отсечения риса метками узлов 1984–2017 гг., описывает объясняющие переменные и их значения, которые используются в данном узле для разделения набора данных. Переменные соответствуют тем, которые приведены в таблице.

Эти результаты свидетельствуют о том, что удобство содержания полей, находящихся в непосредственной близости друг от друга, то есть меньшая забота о водяных насосах, короткие расстояния перемещения, играет большую роль в принятии решений рисоводами, чем другие анализируемые показатели. Результат анализа драйвера подтверждает визуальное представление, выявленное с помощью индикаторных карт (раздел 0).

## 5. Выводы

В исследовании были проанализированы временные ряды изображений Landsat с 1984 по 2017 год (за исключением 1985, 1995 и 1997 годов). Для идентификации рисовых полей в Казалинском районе была реализована неконтролируемая схема классификации k-средних стека БИК, включающая каждые три снимка Landsat в год, и преобразована в рисовую маску на основе ГИС для исследуемого района с удовлетворительной точностью 91,6 %. Общая площадь рисовых угодий за последние 13 лет отражает развитие производства риса в регионе, о чем сообщается в официальной статистике, что, в свою очередь, лежит в основе достоверности представленной процедуры картографирования с помощью дистанционного зондирования. Для анализа интенсивности посева риса в Казалинске в 1984–2017 гг.

были использованы два статических и один динамический показатель: частота посева риса, последний год посева риса и линейный тренд пятилетней интенсивности посева риса.

В течение анализируемого исторического периода (1984–2017 гг.) площадь полей, используемых для выращивания риса, изменялась из года в год. Две основные тенденции в посевных площадях риса (сокращение до 1999 года и увеличение после 2004 года) соответствуют национальным отчетам Казахстана по производству риса. За исследуемый период площадь посевов риса сократилась с 20 737 га до 10 828 га в год. После минимума 2004 года (5 015 га) площади под выращивание риса снова увеличились.

Исходя из определения, что разрыв в производстве риса, превышающий пять лет, указывает на заброшенность земель, 44 249 га из 69 033 га (64 %) пахотных земель в Казалинске, когда-либо использовавшихся с 1984 года, в настоящее время заброшены. Однако значительные позитивные тенденции в производстве риса (повторное использование пахотных земель) произошли на 11 029 гектарах с 2004 года.

Результаты статистического анализа факторов с использованием рекурсивных регрессионных деревьев на основе секционирования показывают, что наиболее интенсивное производство риса происходило на густо возделываемых землях, то есть удалось оптимизировать управление (распределение воды, использование техники). Таким образом, даже несмотря на то, что некоторые отклонения в регрессионной модели оставались необъясненными, экономические преобразования в сельскохозяйственном секторе, а не дефицит воды или деградация земель, могли вызвать это негативное развитие в Казалинске.

Особый интерес для дальнейших исследований представляют факторы расширения рисовых полей на ранее заброшенных территориях (повторного использования) в Казалинском районе. Анализ факторов также может быть перенесен на всю рисоводческую зону вдоль реки Сырдарья, Кызылорду, чтобы лучше понять механизм, обнаруженный в Казалинске, в региональном масштабе. Однако ежегодные рисовые маски могут также дать возможность изучить состояние риса и оценить урожайность, водопользование и другие соответствующие вопросы, имеющие решающее значение для продовольственной безопасности, а также экономического и человеческого благополучия в регионе.

На основании представленных результатов, авторы настоятельно рекомендуют интегрировать дистанционное зондирование в качестве инструмента обновления национальных баз данных. Дистанционное зондирование обеспечивает независимый источник данных и информации. В настоящее время необработанные данные можно использовать бесплатно, и даже инструменты анализа имеют открытый исходный код. Таким образом, необходимо только инвестировать в развитие кадрового потенциала для использования дистанционного зондирования как ценного инструмента.

Кроме того, авторы рекомендуют интегрировать представленный анализ в социально-экономические исследования для дальнейшего анализа очагов деградации и

того, могут ли стимулы для фермеров повторно обрабатывать заброшенные земли быть выгодными для региона и для доходов фермеров

## 6. Благодарности

Данное исследование было проведено в рамках финансируемого Фондом Volkswagen проекта "Оценка изменений стоимости земли и разработка инструмента поддержки дискуссий для улучшения планирования землепользования в орошаемых низовьях Центральной Азии" (LaVaCCA) в рамках призыва "Между Европой и Востоком – в фокусе научные исследования и высшее образование в Центральной Азии и на Кавказе". Мы выражаем благодарность Геологической службе США (USGS) за предоставление данных Landsat через EarthExplorer.

## 7. Список литературы

1. Abuov K., Kovalenko V., Rakishev A., Makhambetov A., Ibraev A., 1967, Recommendations for the agriculture system Kizilordinskaya oblast. Alma-Ata, 275 p.
2. Alcantara, C., Kuemmerle, T., Prishchepov, A.V., Radeloff, V.C., 2012, Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data. *Remote Sensing of Environment* Vol.124, pp. 334–347. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2012.05.019>.
3. Breiman, L. Fiedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J., 1984, Classification and Regression Trees. Belmont. (Belmont, CA: Wadsworth International Group).
4. Congalton, R.G., 1991, A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 37, No. 1, pp. 35-46.
5. Conrad, C., Schönbrodt-Stiff, S., Löw, F., Sorokin, D., Paeth, H., 2016a, Intensity in the Aral Sea Basin and Its Dependency from the Runoff Formation 2000–2012. *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 630, 26p.
6. Conrad, C., Lamers, J.P.A., Ibragimov, N., Löw, F., Martius, C., 2016b, Analysing irrigated crop rotation patterns in arid Uzbekistan by the means of remote sensing: A case study on post-Soviet agricultural land use, *Journal of Arid Environments*, Vol. 124, pp. 150-159.
7. Dangour, A.D., Farmer, A., Hill, H.L., Ismail, S.J., 2003, Anthropometric Status of Kazakh Children in the 1990s. *Economics and Human Biology*, Vol. 1, No. 1, pp.43-53.
8. Dubovyk, O., Menz, G., Conrad, C., Kan, E., Machwitz, M., Khamzina, A., 2013, Spatio-temporal analyses of cropland degradation in the irrigated lowlands of Uzbekistan using remote-sensing and logistic regression modeling. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 185, No. 6, pp. 4775–4790. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2904-6>.
9. Elert E. A., 2014, Good grain. *Nature*, Vol. 514, pp. 50–51.

10. Estel, S., Kuemmerle, T., Alcántara, C., Levers, C., Prishchepov, A., Hostert, P., 2015, Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 163, pp. 312–325.
11. Funakawa, S., Suzuki, R., Karbozova, E., Kosaki, T., Ishida, N., 2000,. Salt-affected soils under rice-based irrigation agriculture in southern Kazakhstan. *Geoderma*, Vol. 97, No. 1–2, pp. 61–85. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00026-4).
12. Goskomstat. 1996. Goskomstat (State Committee on Statistics of the Republic of Kazakhstan). Annual Demographical Book of Kazakhstan. Goskomstat, Almaty.
13. Gumma, M. K., Nelson, A., Thenkabail, P., Singh, A.N., 2011, Mapping rice areas of South Asia using MODIS multitemporal data. *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 5, 053547-1-053547-Gupta, R., Kienzler, K., Martius, C., Mirzabaev, A., Oweis, T., de Pauw, E., Qadir, M., Shideed, K., Sommer, R., Thomas, R., Sayre, K., Carli, C., Saparov, A., Bekenov, M., Sanginov, S., Nepesov, M., Ikramov, R., 2009, Research Prospectus: A Vision for Sustainable Land Management Research in Central Asia. ICARDA Central Asia and Caucasus Program. Sustainable Agriculture in Central Asia and the Caucasus Series No.1. CGIAR-PFU, Tashkent, Uzbekistan. 84 pp.
14. Institute of Geography, 2010a, The National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Social-economic development vol. II., Almaty, Kazakhstan, 163 p.
15. Institute of Geography, 2010b, The National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Natural conditions and resources Vol. I., Almaty, Kazakhstan, 149 p.
16. KDS, 2009, Agriculture, Agriculture Kyzylorda region in 2003-2009 (Sel'skoe, Lesnoe i rybnoe Hozjajstvo Kyzylordinskoj Oblasti 2003-2009) (Kyzyl-Orda: Kyzyl-Orda Department of Statistics). [in Russian].
17. KDS, 2013, Agriculture, Agriculture Kyzylorda region in 2009-2013 (Selskoe, Lesnoe i rybnoe Hozjajstvo Kyzylordinskoj Oblasti 2009-2013) (Kyzyl-Orda: Kyzyl-Orda Department of Statistics). [in Russian].
18. KDS, 2014, Agriculture, Gross harvest of agricultural crops in Kyzylorda region in 2014 Volume III. productivity (Selskoe, Lesnoe i rybnoe Hozjajstvo Kyzylordinskoj Oblasti 2014) (Kyzyl-Orda: Kyzyl-Orda Department of Statistics). [in Russian].
19. KDS, 2015, Agriculture, Gross harvest of agricultural crops in Kyzylorda region in 2015 Volume III. productivity (Selskoe, Lesnoe i rybnoe Hozjajstvo Kyzylordinskoj Oblasti 2015) (Kyzyl-Orda: Kyzyl-Orda Department of Statistics). [in Russian].
20. KDS, 2016, Agriculture, Gross harvest of agricultural crops in Kyzylorda region in 2016 Volume III. productivity (Selskoe, Lesnoe i rybnoe Hozjajstvo Kyzylordinskoj Oblasti 2016) (Kyzyl-Orda: Kyzyl-Orda Department of Statistics). [in Russian].
21. Khush G.S., 2005, What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030. *Plant Molecular Biology*, Vol. 59, pp. 1–6.
22. Künzer, C., Knauer, K., 2013, Remote sensing of rice crop areas. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 34, No. 6, pp. 2101–2139. Available at: <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.738946>.

23. Löw, F., Fliemann, E., Iskandar Abdullaev, I., Conrad, C., Lamers, J.P.A., 2015, Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, Kazakhstan using satellite remote sensing. *Applied Geography*, Vol. 62, pp. 377-390.
24. Martínez-Casasnovas, J.A., Martín-Montero, A., Auxiliadora Casterad, M., 2005, Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. *European Journal of Agronomy*, Vol. 23, pp. 159– 169.
25. Prishchepov, A.V., Radeloff, V.C., Dubinin, M., Alcantara, C., 2012, The effect of Landsat ETM/ETM+ image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 126, pp. 195– 209.
26. Qadir, M., Noble, A.D., Qureshi, A.S., Gupta, R.K., Yuldashev, T., Karimov, A., 2009, Salt induced land and water degradation in the Aral Sea basin: A challenge to sustainable agriculture in Central Asia. *Natural Resources Forum*, Vol. 33, No. 2, pp. 134–149. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01217.x>.
27. R Development Core Team, 2012, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
28. Siebert, S., Portmann, F.T., Döll, P., 2010, Global patterns of cropland use intensity. *Remote Sensing*, Vol. 2, No. 7, pp. 1625–1643. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs2071625>.
29. Stefanski, J., Kuemmerle, T., Chaskovskyy, O., Griffiths, P., Havryluk, V., Knorn, J., Korol, N., Sieber, A., and Waske, B., 2014. Mapping Land Management Regimes in Western Ukraine Using Optical and SAR Data. *Remote Sensing*, Vol. 6, No. 6, pp. 5279–5305. Available at: <http://doi.org/10.3390/rs6065279>.
30. Tian, H., Wu, M., Wang, L., Niu, Z., 2018, Mapping Early, Middle and Late Rice Extent Using Sentinel-1A and Landsat-8 Data in the Poyang Lake Plain, China. *Sensors (Basel, Switzerland)*, Vol. 18, No. 1, p. 185. Available at: <http://doi.org/10.3390/s18010185>.
31. Tischbein, B., Manschadi, A.M., Conrad, C., Hornidge, A.-K., Bhaduri, A., Hassan, M.M.U., Lamers, J.P.A., Awan, U.K., and Vlek, P.L.G., 2013, Adapting to water scarcity: Constraints and opportunities for improving irrigation management in Khorezm, Uzbekistan. *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol. 13, No. 2. Available at: <https://doi.org/10.2166/ws.2013.028>.
32. Tou, J.T. and Gonzalez, R.C., 1974, *Pattern Recognition Principles*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
33. Unger-Shayesteh, K., Conrad, C., Schöne, T., Moldobekov, B., 2015, Informed Decision-Making in Land and Water Management in Central Asia: How Earth Observation Technologies may contribute. *Policy Briefs of the German Water Initiative for Central Asia ; 1*, Potsdam: GFZ German Research Centre for Geosciences, 6 p., Available at: <http://doi.org/10.2312/5.4.2015.001e>
34. Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z., 2013, Yield gap analysis with local to global relevance — A review. *Field Crops Research*, Vol. 143, pp. 4–17. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>.

35. World Bank, 2018, Climate Change Knowledge Portal – For Development Practitioners and Policy Makers. Available at: <https://data.worldbank.org/country/uzbekistan>. Assessed: 12.09.2018.