



УНИВЕРСИТЕТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ  
ВЫСШАЯ ШКОЛА РАЗВИТИЯ  
Институт исследований горных сообществ



# Влияние климата на жизнь местных общин в бассейне реки Исфара

Максим Куликов  
Гульбара Оморова  
Евгений Шибков





УНИВЕРСИТЕТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ  
ВЫСШАЯ ШКОЛА РАЗВИТИЯ  
Институт исследований горных сообществ



Научный доклад # 5, 2020

# ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ЖИЗНЬ МЕСТНЫХ ОБЩИН В БАССЕЙНЕ РЕКИ ИСФАРА

Автор: **Максим Куликов**

При участии:

**Гульбара Оморова**

Полевой исследователь, Институт исследований горных сообществ УЦА

**Евгений Шибков**

ГИС – эксперт, Институт исследований горных сообществ УЦА

## **Аннотация:**

Это исследование рассматривает исторические изменения стока реки Исфара с оценкой влияния на него климатических факторов. Оно также анализирует современные данные по растительности, стоку, осадкам и температуре для определения и оценки их взаимных связей. Далее анализируются наблюдения местного населения относительно природных ресурсов и их динамики. Исследование проводилось в феврале-ноябре 2019 года в Баткенской области Кыргызстана в рамках проекта «Сокращение конфликтов за воду и пастбища в Кыргызстане и Таджикистане».

*Данная публикация (отчет) подготовлена при технической поддержке Министерства международного развития Великобритании. Материалы публикации (отчета) не отражают официальную точку зрения Министерства.*

## **Выражение признательности**

Автор хотел бы поблагодарить респондентов, а также Роя Сайдла, Асель Мурзакулову и Кэтрин Холл за ценные комментарии и идеи. Мы также благодарим Малый бассейновый совет реки Исфара, а также NASA, U.S. Geological Survey, Deutsche Wetterdienst, Кыргызгидромет, GRDC и NSIDC за предоставление снимков LANDSAT, данных по стоку и климатические данные. Мы также благодарим разработчиков R, Python, Pandas, GDAL, SAGA GIS и QGIS за их тяжёлую и очень важную работу.

**Ключевые слова:** Исфара, изменение климата, природные ресурсы, сток, местные общины.

Институт исследований горных сообществ (ИИГС) был создан в 2010 году для проведения исследований по развитию с целью улучшения качества жизни горных сообществ Центральной Азии.

Институт исследований горных сообществ является частью Высшей Школы Развития Университета Центральной Азии. Университет Центральной Азии (УЦА) был основан в 2000 году. Президенты Казахстана, Кыргызстана и Таджикистана и Его Высочество Ага Хан подписали Международный договор и Устав, учреждая этот светский и частный университет. Данные документы были ратифицированы соответствующими парламентами и зарегистрированы в Организации Объединенных Наций.

Научные доклады Института исследований горных сообществ представляют собой рецензируемую серию материалов междисциплинарных исследований, направленных на продвижение Повестки Устойчивого Горного Развития в Центральной Азии. Интегрированный научный подход ИИГС для решения актуальных вызовов, с которыми сталкиваются горные сообщества, учитывает существующие социальные и экологические факторы в пространственных и временных масштабах. Комментарии к публикации или вопросы по их содержанию можно отправлять по адресу [msri@ucentralasia.org](mailto:msri@ucentralasia.org). Ссылаться на «Научный доклад» можно без предварительного разрешения.

### **Об авторе:**

**Др. Максим Куликов** является научным сотрудником Института Исследования Горных Сообществ УЦА. Он обладает обширным опытом проведения исследований в области окружающей среды и управления природными ресурсами, а также пространственного анализа и моделирования природных феноменов. Его область исследования включает климат, растительность, ирригацию и горные экосистемы. В настоящее время он занимается исследованиями в области климата и окружающей среды с фокусом на их пространственных и временных взаимоотношениях и моделировании в Кыргызстане.

Авторское право © 2020

Университет Центральной Азии

720001, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Токтогула, 138

Тел.: +996 (312) 910 822, E-mail: [msri@ucentralasia.org](mailto:msri@ucentralasia.org)

Содержание настоящего документа является исключительно предметом ответственности авторов и ни в коей мере не является отражением взглядов Университета Центральной Азии. Текст и данные настоящей публикации могут быть воспроизведены при условии указания источника следующим образом: Куликов, М., Оморова, Г., Шибков, Е. (2020) Влияние климата на жизнь местных общин в бассейне реки Исфара, Институт исследований горных сообществ, Научный доклад №5, 48 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>Район исследования</b> .....	5
<b>Ледники и речной сток в Центральной Азии</b> .....	10
<b>Изменение климата и растительность в Центральной Азии</b> .....	13
<b>Сток реки Исфара и его реакция на климатические факторы, анализ исторических данных</b> .....	16
Данные и методы.....	16
Результаты.....	17
<b>Реакция растительности на абиотические факторы в бассейне реки Исфара</b> .....	20
Данные и методы.....	20
Данные дистанционного зондирования и абиотических факторов.....	20
Регрессионный анализ пространственных данных.....	21
Множественный линейный регрессионный анализ временных данных.....	21
Разложение на трендовый и сезонный компоненты.....	21
Результаты.....	22
Полиномные тренды.....	22
Коэффициент детерминации NDVI стоком, осадками и температурой.....	22
Множественный линейный регрессионный анализ.....	25
Кросскорреляционный анализ трендовых и сезонных компонентов.....	26
<b>Восприятие изменения климата, природных ресурсов и экономической деятельности в бассейне реки Исфара</b> .....	27
Данные и методы.....	27
Результаты.....	28
<b>Обсуждение</b> .....	34
<b>Использованная литература</b> .....	38
<b>Приложение I. Анкета восприятия изменения климата</b> .....	47

## ВВЕДЕНИЕ

Центральная Азия, засушливый регион в середине континента, испытывающий недостаток водных ресурсов включает в себя пять азиатских стран: Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Узбекистан и Туркменистан. Аридность является одним из основных факторов, определяющих ландшафты и сельскохозяйственное производство в регионе. Сельское хозяйство в Центральной Азии сильно зависит от искусственного орошения, для чего используется вода горных рек. Горы Тянь-Шаня и Памира являются основными водонапорными башнями в регионе, водосток которых формируется от таянья снега, ледников, а также от дождей. В Центральной Азии большое разнообразие ландшафтов, включая пустыни, степи, альпийские луга и горные фирновые поля.

Более 60% населения Кыргызстана (NatStatCom, 2018a) и около 73% населения Таджикистана (TajStat, 2015) проживает в сельской местности. В Таджикистане около 50-70% дохода семей происходит из сельскохозяйственного сектора (Lerman, 2012). Около 27% населения Кыргызстана и около 60% населения Таджикистана рабочего возраста трудоустроено в аграрном секторе (Goibov et al., 2012; NatStatCom, 2019a, 2018a). Население Баткенской области Кыргызстана и Согдийской области Таджикистана растёт, но природные ресурсы остаются скудными, что вносит свой вклад в социальную нестабильность. Сельская экономика очень важна для благополучия местных жителей, которые сильно зависят от природных ресурсов. Они являются частями живой экосистемы, которая зависит от других факторов, таких как: почва, осадки и температура. Плодоводство является одним из доминирующих источников дохода, и оно сильно зависит от ирригационных систем, для которых река Исфара является основным источником воды.

Земледелие и животноводство являются основными источниками дохода для местного населения, переводы трудовых мигрантов составляют второй по величине источник дохода. Продуктивность сельского хозяйства сильно определяется природными ресурсами, которые очень ограничены в регионе. Растущее население и повышенная эксплуатация аграрных земель и пастбищ, разрушающаяся ирригационная система отрицательно сказываются на сельскохозяйственном производстве. Таким образом, перераспределение пастбищ, возделываемых земель и водных ресурсов, которое происходит в густонаселённом регионе с различными этносами и неопределёнными государственными границами рассматривается как основной фактор, приводящий к конфликтам.

Река Исфара принадлежит к бассейну реки Сыр-Дарья и образуется слиянием двух горных рек Кишемиш и Каравшин, которые берут своё начало от ледников Туркестанского хребта и текут на север, где они сливаются в районе села Ворух образуя реку Исфара, которая течёт дальше на север. Река Исфара очень важна для Баткенской области Кыргызстана и сельского хозяйства Согдийской области Таджикистана и Ферганской области Узбекистана, расположенных ниже по течению. Она является одной из трёх рек Баткенской области и снабжает водой более 40 посёлков в Баткенском районе Кыргызстана и Исфаринском районе Таджикистана. Помимо этого, река Исфара наполняет водой водохранилище Тортуль в Кыргызстане, которое используется для полива дополнительных сельскохозяйственных территорий и снабжения водой городов Баткен, и Исфара. Эти факты определённо показывают важность реки для ирригационного сельского хозяйства и водной безопасности территорий, расположенных ниже по течению. В основном монокультурное сельское хозяйство в регионе сокращает плодородие почвы и переводит вопросы распределения воды в политическую плоскость сказываясь на местной экономике (Pak et al., 2014; Soliev et al., 2017) и повышая уязвимость к изменению климата (Ramesh et al., 2013), но также оставляя большой потенциал для улучшения ситуации (Dukhovny et al., 2018; Horst et al., 2005; Löw et al., 2017a; Reddy et al., 2013).

Изменение климата было определено одной из главных угроз сельскохозяйственной экономике в Центральной Азии в ближайшем будущем. Хотя наше исследование показывает, что у местных жителей в бассейне реки Исфара разные мнения по поводу долгосрочных трендов расхода воды в реке, эти же жители замечают сокращение зимних осадков и ледников, которые являются основными источниками воды реки Исфара. Многие старые и более современные исследования показывают прямую связь между изменением климата, ледниками и количеством поливной воды (Aizen et al., 1995; Gosling et al., 2011; Hagg et al., 2013; Kogutenko et al., 2019; Konovalov, 1985; Oberhänsli et al., 2011; Sorg et al., 2012; Xu and Liu, 2014; Zuo et al., 2015) а также его воздействием на сельскохозяйственные территории, расположенные ниже по течению (Congrad et al., 2016; Siegfried et al., 2012). Ожидается, что вследствие изменения климата повысится средняя годовая температура и произойдёт сезонное перераспределение осадков в Центральной Азии (Hijioka et al., 2014). Это скажется на природных ресурсах включая пастбищную растительность (полевые и садовые культурные растения) а также на доступности поливной воды в вегетативный период (Hoegh-Guldberg et al., 2018). Местные последствия изменения климата могут запустить вспышки болезней и вредителей фруктовых деревьев, которые являются важным ресурсом сельскохозяйственного производства в районе исследования. (NatStatCom, 2018a).

Этот исследовательский отчёт соединяет существующие знания об изменении климата, горных ледниках и воздействии изменения климата на речной сток, а также наше исследование о воздействии речного стока и климатических факторов на растительные ресурсы с учётом практик управления водой в бассейне реки Исфара. Также необходимо знать мнение местного населения по поводу доступности природных ресурсов и каким образом изменение климата влияет на них, а также важно знать как местные жители понимают причины этих изменений, для того, чтобы правильно информировать их о новых данных, полученных с помощью инструментальных измерений и моделирования изменяющихся климатических и природных факторов. Поэтому формат этой публикации является комбинацией обзора научных статей и описанием наших собственных исследований. Исследование состоит из четырёх тематических частей: обзор существующих исследований о природных ресурсах и изменении климата, анализ исторических данных о климате и стоке реки Исфара, анализ современных данных о климате, стоке и данных дистанционного зондирования, а также социологическое исследование восприятия местных жителей изменения климата и его воздействия на природные ресурсы.

## РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Река Исфара формируется слиянием рек Кишемиш и Каравшин, которые берут своё начало с вершин Туркестанского хребта (Рис. 1). Основными источниками воды этих рек являются фирновые поля, снежники и ледники (Adyshev et al., 1987). Реки Кишемиш и Каравшин начинаются у ледников Туркестанского хребта Баткенской области Кыргызстана, после слияния они образуют реку Исфара, которая протекает по территории таджикского эксклава Ворух на север в Согдийскую область на севере и далее в Ферганскую область Узбекистана, где она впадает в Большой Ферганский Канал, который течёт в Кайраккумское водохранилище в Таджикистане. Территория бассейна выше села Ак-Сай является территорией формирования стока реки Исфара, ниже этого села происходит расходование стока реки. Река Исфара принадлежит к более крупному бассейну реки Сырдарья, вместе с рекой Амударья они являются двумя крупными реками Центральной Азии и которые впадают в Аральское море. Приток Кишемиш питается талыми водами одноимённого ледника и некоторыми притоками, образующимися от таяния снега. Приток Каравшин формируется множеством мелких рек образующихся от талых вод ледников Шуровского, Минтеке, Кара-Тур, Тамынген, Джауая, Ак-Суу, Асан-Усим, Дукенек, Ак-Тюбек и нескольких безымянных ледников. Количество воды в этих реках и притоках сильно зависит от высоты водосбора. Минерали-

зация воды реки Исфара достигает 300-500 мг/л, и в основном включает гидрокарбонаты ( $\text{HCO}_3^{1-}$ ), сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и магний ( $\text{Mg}^{2+}$ ) (Adyshev et al., 1987).

На исследуемой территории также находится водохранилище Тортгуль, которое наполняется с помощью водоотводного канала из реки Исфара. Водоохранилище было открыто в 1971 году и имеет проектный объём 90 миллионов  $\text{m}^3$  с площадью зеркала 6,6  $\text{km}^2$ . Водоохранилище снабжает водой 9000 гектар сельскохозяйственных земель вокруг городов Баткен и Исфара. На этой территории нет естественных озёр.

В низовьях бассейна реки Исфара имеются артезианские воды прерывистого и постоянного распространения к северу от сёл Октябрь и Ак-Татыр (Adyshev et al., 1987). Грунтовые воды на всей территории располагаются в основном в палеозойских и протерозойских осадочных и метаморфозных породах. Геологические формации в основном включают карбоновые системы с включениями силуровых, девоновых и некоторых четвертичных систем. Основные породы включают глинистый сланец, песчаник, известняк и конгломераты. В сейсмическом плане район исследования не очень активен, средняя глубина очагов землетрясений составляет 20-40 км, а самая высокая магнитуда достигает 5-7, повторение таких землетрясений ожидается каждые 8 лет. Типы рельефа включают высокогорные структурно-денудационные, выработанные в палеозойских и докембрийских породах в верховьях притоков Исфары, далее – среднегорные структурно-эрозионные на допалеозойских и палеозойских породах, низкогорные и предгорные структурно-эрозионные ландшафты (отроги хребтов, передовые гряды) на допалеозойских и палеозойских отложениях, на равнинах, в нижней части течения реки Исфара наблюдаются крупнохолмисто-грядовые ландшафты и возвышенности предгорного облика, адыры и прилавки преимущественно в кайнозойских и реже в мезозойских породах (Adyshev et al., 1987).



Рисунок 1. Район исследования.

Средняя температура воздуха в январе колеблется от  $-4^{\circ}\text{C}$  в нижней части бассейна до  $-8^{\circ}\text{C}$  в верхней части бассейна реки Исфара, ветры преимущественно восточные до 2 м/с. Средняя температура в июле колеблется от  $4^{\circ}\text{C}$  в верхних частях бассейна до  $24^{\circ}\text{C}$  в нижней части бассейна, а восточные и западные ветры дуют с одинаковой частотой достигая 2 м/с. Ветры в районе исследования имеют в основном широтное направление, что определяется ориентацией Алайского и Туркестанско-

го хребтов. Средняя температура воздуха весной поднимается выше  $0^{\circ}\text{C}$  в среднем после мая в верхней части бассейна и до марта в нижней части бассейна. Средняя температура воздуха падает ниже  $0^{\circ}\text{C}$  ещё до октября в верховьях реки Исфара и после декабря в нижней части бассейна. Последние весенние заморозки наблюдаются в июне в верховьях реки Исфара, а в нижней части бассейна – в апреле. Первые осенние заморозки в верховьях наблюдаются в октябре, а в низовье – в ноябре. Температура верхнего слоя почвы колеблется от  $4^{\circ}\text{C}$  в верховьях до  $15^{\circ}\text{C}$  в низовьях в апреле, и от  $8^{\circ}\text{C}$  в верховьях до  $30^{\circ}\text{C}$  в низовьях в июле. Относительная влажность воздуха колеблется от 40% в верховьях бассейна до 50% в низовьях в январе и от 40% в верховьях до 25% в низовьях в июле. Годовая сумма осадков в верховьях бассейна составляет 800 мм/год и менее 200 мм/год в низовьях. Большая часть осадков выпадает весной и просматривается увеличение годового количества осадков с увеличением высоты над уровнем моря. Количество дней с осадками более 1 мм варьирует от 70 в верховьях реки до 40 в низовьях реки Исфара. Дневной максимум осадков варьирует от 60 мм в верховьях до 40 мм в низовьях реки (Adyshev et al., 1987).



**Рисунок 2. Река Исфара. Фотография была сделана около деревни Ак-Сай в конце февраля 2019 г. во время сниженного стока. На заднем плане видны поля и сады, не покрытые снегом. Фото: Максим Куликов.**

Средняя годовая испаряемость колеблется от 400 мм в верховьях бассейна до 1400 мм в низовьях. Отношение осадков к испаряемости колеблется от 0,7 в верховьях реки Исфара до 0,3 в низовьях реки. Количество дней в году со снегом в среднем составляет от 200 в верхней части бассейна, до 50 в нижней части с максимальной толщиной снежного покрова от 40 см в верховьях до 10 см в низовьях. Период устойчивого снежного покрова длится от ноября до апреля в верхней части бассейна и от декабря до февраля в нижней части бассейна. Климат в верховьях бассейна реки Исфара, включая эксклав Ворух, обеспечивает достаточную

влажность, и этот район считается пригодным для сельского хозяйства, тогда как районы ниже Воруха имеют сухой степной климат, исходя из общего годового количества осадков и средней годовой температуры. Зимы в этом районе мягкие и не морозные; лето жаркое и ясное. В целом погода не облачная. Большая часть осадков сконцентрирована в марте, апреле и мае. Снеговая линия находится на высоте 3800 м над уровнем моря. Территория вокруг Воруха слегка подвержена сходу лавин, в среднем лавины случаются 1 раз в 10 лет объемом менее 10 000 м<sup>3</sup>. Районы вокруг и выше Воруха подвержены селевым потокам, вызванным дождями, которые происходят в среднем один раз в год, а территория ниже Воруха является областью отложения селевого материала.

Почвы в верховьях реки Исфара представлены типами *Leptosols Mollic* и *Leptosols Umbric* согласно международной классификации IUSS Working Group WRB (2014). Особо мощные горизонты *mollic* или *umbric* находятся в районах арчовых зарослей (*Juniperus spp.*) которые простираются к югу от эксклава Ворух. Почвы горных лугов в основном представлены типом *Umbrisols*, а сельскохозяйственные территории в Ворухе в основном располагаются на почвах типов *Cambisols* и *Leptosols*. Почвы равнин в нижней части бассейна включают различные комбинации типов *Calcisols* и *Anthrosols* вследствие долгой истории возделывания сельскохозяйственных культур в этой области, с редкими включениями *Cambisols*. Почвы страдают в основном от водной эрозии, но также и от ветровой эрозии вдоль нижней части долины, а также высокогорные пастбища подвержены водной эрозии, усиливающейся вследствие перевыпаса. На высокогорных пастбищах около 40-50% почвенного профиля было потеряно (*Leptosols*) вследствие эрозии. На сельскохозяйственных территориях на пригорках вокруг Воруха около 40% (*Cambisols* и *Leptosols*), и в пригорных долинах около 30-40% (*Calcisols* и *Anthrosols*). Почвы бедны азотом (<6 мг/100 г. почвы) и нуждаются в азотных удобрениях для ведения сельского хозяйства. Примерно на половине территории также наблюдается недостаток фосфора ( $P_2O_5$  <1,5 мг/100 г. почвы), где тоже необходимы удобрения для сельскохозяйственного производства, в почвах другой половины территории отмечается среднее и высокое содержание фосфора, ( $P_2O_5$  2-5 мг/100 г. почвы), также среднее содержание калия ( $K_2O$  20-40 мг/100 г. почвы). В общем плодородие сельскохозяйственных и пастбищных земель варьирует от среднего до хорошего. Почвы не требуют дополнительных мелиорационных мер кроме обычной вспашки. На пастбищах требуется правильная ротация нагрузки и мониторинг видов растений, высокогорные пастбища должны использоваться преимущественно летом, а среднегорные пастбища могут также использоваться весной и осенью (Adyshev et al., 1987; IUSS Working Group WRB, 2014; Mamytov and Ashirakhmanov, 1988).

Растительные сообщества в самом высоком субнивальном поясе (3500 – 4000 м н.у.м.) включают петрофильные виды: *Sibbaldia tenrandra*, *Smelowskia calycina*, *Ajania tibetica*, *Potentilla biflora*, *Saxifraga oppositifolia*, *Chorispora macropoda*, *Draba fladnizensis*, *Lagotis decumbens*, *Paraquilegia caespitosa* и *Pyrethrum leontopodium*. Ниже этого пояса на территориях пастбищ (2000 – 3500 м н.у.м.) растительные виды представлены *Phlomis oreophila*, *Carex stenocarpa*, *Ranunculus alberti*, *Aquilegia karelinii*, *Poa angustifolia*, *P. bulbosa*, *Festuca alatavica*, *Pachypleurum gayoides*, *Polygonum viviparum* и *Kobresia stenocarpa*. Большие заросли *Juniperus turkestanica*, *Rosa platyacantha*, *R. fedtschenkoana*, *Lonicera microphylla*, *Cotoneaster oliganthus*, *Spiraea hypericifolia*, *Amygdalus spinosissima*, *Berberis integerrima*, *Betonica foliosa*, *Nepeta pannonica* и *Prangos pabularia* охватывают территорию к югу от эксклава Ворух. Некоторые растительные сообщества включают *Artemisia prolixa*, *Elytrigia trichophora*, *Bromus danthoniae*, *B. tectorum*, *Rochelia leiocarpa* с кустарниками *Rosa kokanica*, *Spiraea hypericifolia*, *Cerasus tianschanica*. Предгорье и предгорные равнины (1300 – 2000 м н.у.м.) активно используются в сельском хозяйстве, однако оригинальные растительные сообщества представляют собой разреженную растительность сухих степей, включающую *Climacoptera brachiata*, *Salsola lanata*, *Camphorosma lessingii*, *Suaeda arcuata*, *Filago arvensis*, *Chondrilla*

*lejosperma*, *Jurinea winkleri*, *Bromus tectorum*, *Boissiera squarrosa* и *Strogisella africana*. Пустынные растительные сообщества включают *Artemisia subsalsia*, *Salsola australis*, *Kochia prostrata*, *Halogeton glomeratus*, *Girgensohnia oppositiflora*, *Helianthemum songaricum*, *Convolvulus tragacanthoides*. Помимо этого встречаются следующие виды: *Artemisia eremophila*, *Cousinia microcarpa*, *Delphinium semibarbatum*, *Eremurus sogdianus*, *Taeniatherum crinitum*, *Atraphaxis pyrifolia* (Adyshev et al., 1987; Lazkov and Sultanova, 2011; Vykhodtsev, 1966, 1956).



**Рисунок 3. Река Исфара. Фотография была сделана около деревни Ак-Сай в сентябре 2019 г. На заднем плане можно видеть сады и саму реку на переднем плане, количество воды намного больше, чем в феврале (Рисунок 2). Фото: Максим Куликов.**

Район исследований принадлежит Туркестанскому району Туркестано-Алайской геоботанической провинции. Район поделен между двумя подрайонами: верхняя горная часть относится к подрайону арчово-кустарниковых лугов, а нижняя равнинная часть относится к подрайону пустынно-степной зоны. Доминирующие виды, определяющие ландшафт, включают: *Artemisia namanganica*, *A. prolixa*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Salsola orientalis*, *Girgensohnia diptera*, *Stipa caucasica*, *Elytrigia trichophora*, *Festuca sulcata*, *Inula macrophylla*, *Juniperus semiglobosa*, *J. seravschanica*, *Stipa trichoides*, *Cousinia pseudoarctium*, *Onobrychis echidna*, *Poa relaxa*, *Agrostis canina*, *Kobresia humilis*, *Festuca alaica*, *Oxytropis immersa*, *Potentilla flabeliata* (Adyshev et al., 1987; Lazkov and Sultanova, 2011; Vykhodtsev, 1966).

Фауна этого региона также богата видами. Рептилии включают следующие виды: *Asymblespharus alaicus* и *Gloydus halys*. Птицы представлены следующими видами: *Aquila chrysaetos*, *Gypaetus barbatus*, *Accipiter brevipes*, *Accipiter nisus*, *Falco tinnunculus*, *Asio otus*, *Streptopelia turtur*, *Streptopelia orientalis*, *Columba oenas*, *Columba palumbus*, *Cuculus canorus*, *Lanius collurio*, *Anthus trivialis*, *Turdus viscivorus*, *Turdus merula*, *Myophonus caerule-*

*us, Monticola saxatilis, Monticola solitarius, Phoenicurus erythronotus, Phoenicurus ochruros, Phoenicurus caeruleocephalus, Sylvia nisoria, Sylvia communis, Luscinia svecica, Phylloscopus trochiloides, Phylloscopus inornatus, Phylloscopus griseolus, Locustella naevia, Acrocephalus dumetorum, Parus rufonuchalis, Parus montanus, Parus major, Troglodytes troglodytes, Regulus regulus, Leptopoeile sophiae, Carduelis caniceps, Carduelis chloris, Serinus pusillus, Carpodacus erythrinus, Carpodacus grandis, Mycerobas carnipes, Corvus corone, Pica pica, Lepus tolai, Ochotona rutila, Marmota baibacina, Dryomys nitedula, Sicista tianshanica, Mus musculus, Apodemus uralensis, Microtus gregalis, Ursus arctos, Canis lupus, Vulpes vulpes, Meles meles, Martes foina, Mustela erminea, Mustela nivalis, Lynx lynx, Sus scrofa, и Capreolus pygargus* (Adyshev et al., 1987).

Ландшафты у истока притоков реки представлены высокогорными тундрами на высотах > 3000 м н.у.м. Они представляют собой пересечённую местность с крутыми склонами со скалистыми и каменистыми хребтами, молодыми моренами и скелетными почвами (*Lep-tosols*) с участками неплотной криофильной растительности. Ниже пояса тундр находится пояс арчевых лесов и высокогорных лугов на крутых скалах и покатых горных долинах между 2000 и 3000 м н.у.м. Почвы в этой местности представлены типами *Umbrisols* и *Cambisols* под арчевыми зарослями и лесами, лугами и кустарниками. На высотах 1500-2000 м н.у.м. доминирующими ландшафтами являются степи и полу-пустыни на крутых склонах и пригорках с почвами типа *Calcisols* и растительностью, представленной ковылём, полыньями, овсяницей и кустарниками. Участки на высотах 1000-1500 м н.у.м. заняты полупустынями на аллювиальных отложениях с мягкими, покатыми склонами, которые используются в сельском хозяйстве.

## ЛЕДНИКИ И РЕЧНОЙ СТОК В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Ледники играют важную роль в снабжении пресной водой в регионе, а ледниковый сток особенно важен для реки Исфара в летние месяцы. В регионе максимум осадков приходится на весну и выпадает в основном в горах, ледники накапливают влагу и расходуют её в самый жаркий сезон, когда она пользуется большим спросом со стороны сельского хозяйства (Sorg et al., 2012). Ледниковый сток составляет только 5% воды в реках бассейна реки Сыр-дарья (Glazygin, 2015; Sorg et al., 2012) и около 15% всего стока в Кыргызстане происходит от ледников, хотя он может увеличиваться в 3 раза во время сезона таяния (Konovalov, 1985; Konovalov and Shchetinnicov, 1994). Тем не менее, ледниковый сток все еще обеспечивает значительный вклад в речной водоток в летнее время (Hagg et al., 2007, 2006), когда вода наиболее востребована для полива. Aizen et al. (1995) определили, что в среднем 15-20% воды в реках Тянь-Шаня происходит от ледников, и может достигать 35% в сухие годы, однако, основным источником воды является сезонное таяние снежного покрова и осадки в тёплое время года. Сокращение ледников в Тянь-Шане наблюдается со времени малого ледникового периода (Solomina et al., 2004). Сезонно отсроченный вклад ледников в сток из-за летнего таяния выше в засушливых районах, чем в низинах с муссонным климатом (Kaser et al., 2010), что делает ледники важным источником воды летом в регионе. Однако, глобальные оценки отмечают увеличение стока в короткой перспективе вследствие абляции и сокращение стока на 10-20% в далёкой перспективе (Kundzewicz et al., 2008).

Более 90% (567 миллионов человек) населения мира, подверженного риску изменения ледникового стока вследствие изменения климата проживает в Азии (Schaner et al., 2012). Immerzeel et al. (2010) определили общее сокращение массы азиатских ледников на основе моделирования стока рек со снежным и ледниковым питанием (Инд, Ганг, Брахмапутра, Янцзы и Хуанхэ), однако, у этих оценок значительная неточность, о которой говорят сами авторы. Авторы приходят к выводу, что речной сток сократится из-за изменения климата в

2046-2065 гг. Исходя из этого и из потребностей в ирригации, урожайности, численности населения и потребления энергии, авторы приходят к выводу, что после 2065 года только 4,5% местного населения, проживающего в этом районе, будет обеспечена продовольственная безопасность, и что местное население, живущее в бассейнах этих рек будет находиться под угрозой из-за снижения доступности воды. Они также предполагают, что водные источники Азии находятся под угрозой изменения климата, однако его влияние на бассейны различно и не может быть обобщено для всех (Hijioka et al., 2014). Уменьшение ледников и снежников может привести к уменьшению расхода воды в реках, питаемых ледниками и снегом, однако увеличение весенних дождевых осадков в верховьях рек, питающихся дождями, может обеспечить больше воды в засушливые сезоны, если имеется инфраструктура для хранения воды (IPCC WGII, 2014).

Ледник Урумчи № 1 является одним из эталонных ледников в Азии с самой долгой историей наблюдений в Китае. С 1962 по 2009 г. длина этого ледника сократилась на 9,7% а площадь поверхности сократилась на 15,6% (Li et al., 2014; Xu et al., 2018). Этот ледник очень важен для региона и находится в верховьях реки Урумчи. Общая площадь ледников в горах Цилиньшань на западе Китая за последние 50 лет сократилась на 21,7% (Wang et al., 2011). Около 10% речной воды обеспечивается талой водой ледника, которая стабилизирует и регулирует сезонный сток (Li et al., 2014).

Похожий характер сокращения оледенения был замечен и у ледников Северного Тянь-Шаня (Bolch, 2015, 2007; Farinotti et al., 2015; Goerlich et al., 2017; Narama et al., 2006; Osmonov et al., 2013). Bolch (2007) изучал площадь поверхности ледников на Северном Тянь-Шане используя космические снимки Landsat с 1999 г. и сравнивал площади ледников на снимках с площадями, указанными в советском каталоге ледников (1966-1983), а также изучал климатические условия в районах ледников (температуру, осадки, солнечную радиацию). Автор определил, что увеличение температуры в Северном Тянь-Шане в два раза превосходит (составляя 2°C за 100 лет в период 1950-2000) глобальную среднюю величину для этого региона в 1950-2000, в основном благодаря увеличению температуры осенью и зимой, в то время как увеличение осадков было небольшим без очевидного тренда. Среднее сокращение площади ледников за период 1955-1999 составило 32% (Bolch, 2007), близость озера Иссык-Куль имело стабилизирующий температуру эффект и величина сокращения не была высокой. В то же время Chen et al. (2014) описали общее увеличение высоты (н.у.м.) границы многолетней мерзлоты (FLN – freezing level height) на Тянь-Шане. Летний сток рек Тянь-Шаня значительно увеличился вследствие увеличения высоты границы многолетней мерзлоты (ВГММ), что является одним из факторов, наряду с топографией и антропогенным воздействием, увеличивающим таяние ледников (Chen et al., 2014). Было определено, что ВГММ имеет значимую связь с летним стоком на Тянь-Шане, однако сила реакции стока на увеличение ВГММ различалась между склонами с северной и южной экспозицией (Chen et al., 2014). Реки на южных склонах давали больший прирост стока, чем реки на северных склонах в ответ на увеличение ВГММ, которая, в свою очередь, зависит от компонентов, формирующих сток (Chen et al., 2014).

На основании анализа данных за период 2003-2009 гг. Gardner et al. (2013) определили, что высота ледников Центрального Тянь-Шаня сокращается на  $-0,58 \pm 0,21$  м/г (метров в год), а высота ледников Алая и Памира на  $-0,13 \pm 0,22$  м/г. Другое исследование, проведенное Pieczonka and Bolch (2015) определило сокращение массы ледников на  $-0,35 \pm 0,34$  м э.с.в./г (метра эквивалентного слоя воды в год) во всем Центральном Тянь-Шане на основании анализа временных рядов за период 1975-1999 гг., что соответствует средним мировым значениям. Ледник № 354 в Центральном Тянь-Шане (хребет Ак-Шыйрак) имеет отрицательный баланс массы в размере  $-0,43$  м э.с.в./г за период 2003-2014 (Kronenberg et al., 2016) и  $-0,79 \pm 0,25$  м э.с.в./г за период 1975-1999 (Pieczonka and Bolch, 2015), что указывает на сокращение скоро-

сти потери массы. В общем, ледники хребта Ак-Шыйрак теряли по  $-0,4 \pm 0,2$  м э.с.в./г с 1964 по 1973 (Goerlich et al., 2017). Средний баланс массы ледника Батыш-Соок был определён в размере  $-0,39 \pm 0,26$  м э.с.в./г в периоде с 2003 по 2015 (Kenzhebaev et al., 2017). Ледники бассейна реки Соколук в общем потеряли 28% площади поверхности оледенения за 1963-2000 гг. (Niederer et al., 2008). Все ледники Центрального Тянь-Шаня демонстрируют последовательную потерю массы в 2004-2014 гг, исключением является 2009 г, когда они приобрели массу или потеряли меньше массы чем в другие годы (Kenzhebaev et al., 2017; Kronenberg et al., 2016), что объясняется климатическими условиями конкретно этого года.

Временные ряды баланса массы ледника Абрамова, который находится примерно в 80 км к востоку от нашего района исследования и принадлежит бассейну реки Кызыл-Суу (бассейн реки Амударья), охватывают период с 1968 по 1998, дальнейшие измерения возобновились только после 2011 года (Barandun et al., 2015; Hoelzle et al., 2017). Повторный анализ старых и новых данных с их совмещением и моделированием недостающих данных показывает устойчивое сокращение массы ледника с 1970 по 2015 г. (Barandun et al., 2015), с потерей 12% площади ледника за 1960-2008 гг. (Hijioka et al., 2014), что составляет  $-0,57$  м э.с.в./г (Sorg et al., 2012). Barandun et al. (2015) также обнаружили, что этот ледник очень чувствителен к изменениям температуры ( $R^2=0,67$ ), его чувствительность определяется в размере  $-0,47$  м э.с.в./г/°C (Rasmussen, 2013), что указывает на высокую чувствительность к температурам ледников Центральной Азии.

Баланс массы ледников Тянь-Шаня увеличивается на больших высотах, а в нижней части наблюдается увеличение абляции (Barandun et al., 2015). Похожие тренды наблюдаются и в горах Памира (Glazirin et al., 2002; Khromova et al., 2014, 2006). Схожая динамика очевидна и у других региональных ледников (Hijioka et al., 2014), которая будет продолжаться по мере роста среднегодовой температуры. Никаких значимых многолетних изменений осадков не было обнаружено (Hijioka et al., 2014), однако ожидается качественное изменение осадков от снегопадов к дождям вследствие роста температуры, что может привести к наводнениям и сезонному перераспределению речного стока воды (Kure et al., 2013). Ледники на внутренних хребтах Тянь-Шаня сокращаются меньше чем ледники на окраинах горной системы, мелкие и фрагментированные ледники сокращаются тоже быстрее крупных вследствие большего отношения площади поверхности к массе (Sorg et al., 2012). Согласно исследованию Aizen et al. (2007a) увеличение среднегодовой температуры на каждый 1°C должно компенсироваться увеличением годовой суммы осадков на 100 мм чтобы поддерживать высоту линии равновесия ледников Тянь-Шаня на том же уровне. Однако, в регионе происходит увеличение температуры но среднегодовое количество осадков не увеличивается (Aizen et al., 2007a, 2006, 1997, 1996; Hijioka et al., 2014). Площадь поверхности ледников Ак-Шыйрак и Ала-Арча сократилась на 4,2% и 5,1% за период 1943-1977 гг. и на 8,6% и 10,6% за период 1977-2003 соответственно (Aizen et al., 2007b, 2006).

Сезонные пики стока с ледника Абрамова и реки Исфары совпадают (Hagg et al., 2007), однако в случае изменения климата при текущем уровне оледенения ожидается увеличение стока почти в два раза (Hagg et al., 2007), что вероятно приведёт к сокращению оледенения. При сокращении оледенения сезонные пики стока воды сместятся от июля-августа к июню с сильным сокращением водотока во время остальной части лета (Hagg et al., 2007). Это может привести к смене основного источника воды реки Исфара от ледников к таянию сезонного снега и осадкам (Braun and Hagg, 2010), что может привести к большой изменчивости среднегодового стока воды от года к году и, следовательно, к серьёзным экологическим и политическим последствиям. Но так как ледники поставляют только 15% водотока, важно также изучать динамику таяния снега, которая может сильно меняться от года к году.

Реки Тянь-Шаня питаются от большого разнообразия источников воды, включая таяние ледников, снега, осадки и их различные комбинации. В зависимости от источника воды

различные климатические факторы могут по-разному влиять на сток, поэтому реки будут реагировать по-разному по мере изменения климата, связанность рек и источников воды тоже является важным фактором Chen et al. (2014) провели анализ рек Тянь-Шаня на северо-западе Китая и определили различные модели реагирования стока на климатические факторы в зависимости от основного источника воды. Сток реки Аксу лучше коррелирует с осадками, чем с температурой ( $O = 0,41$ ,  $T = 0,23$ ), в то время как сток реки Яркенд имел большую корреляцию с температурой ( $O = -0,147$ ,  $T = 0,276$ ). На основании этого реки можно разделить на три категории относительно их чувствительности к изменению климата: чувствительные к температуре, чувствительные к осадкам и чувствительны одновременно к осадкам и к температуре (Chen et al., 2014). Авторы приходят к выводу, что в общем сток значительно увеличился в последние годы, особенно на южных склонах и только у некоторых рек наблюдается сокращение стока. Однако, это исследование не учитывало связанность источников воды и реки.

Различные симуляции показывают смещение времени пикового стока с конца лета к концу весны и началу лета по мере увеличения концентрации  $CO_2$  в атмосфере и последующее сокращение массы ледника Абрамова и в общем ледников Центральной Азии (Hagg et al., 2007, 2006). Ожидается увеличение таяния ледника Абрамова с увеличением  $CO_2$  в атмосфере, но затем, с сокращением массы ледника, ожидается сокращение стока и смещение его пика на более раннее время года (Hagg et al., 2007). Похожее поведение ожидается и у реки Исфары, т.к. ледник Абрамова находится близко от ледников у истоков реки Исфара, и они находятся в похожих условиях.

## ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Более 60% населения Кыргызстана проживает в сельской местности, где орошаемое растениеводство и отгонное животноводство являются основными источниками дохода (FAO, 2011). Таким образом, природные ресурсы имеют жизненно важное значение для благополучия большинства людей в стране. В этом засушливом регионе растительность, включая посевы и пастбища, зависит от наличия воды (Kulikov and Schickhoff, 2017), будь то вода от осадков или орошаемая вода (Aralova et al., 2018; Gessner et al., 2013; Klein et al., 2012; Propastin et al., 2008a). Как уже отмечалось, горные реки берут начало в ледниках и снежниках на вершинах гор, а некоторые также питаются дождями. Большая часть осадков в районе исследования выпадает зимой и весной в виде снега и дождя, которые затем сохраняются в ледниках и снежниках, чтобы летом питать реки.

Многие исследования были посвящены пониманию воздействия климатических факторов (например, температуры и осадков) на растительные ресурсы, а также временных трендов и пространственных моделей климатических факторов и растительности (Aralova et al., 2018; Gessner et al., 2013; Klein et al., 2012; Kulikov and Schickhoff, 2017; Propastin et al., 2008b, 2008a, 2007). Однако в этих исследованиях не учитывались речной сток или ирригационные системы, а также подземные воды и способность почвы хранить влагу, факторы, которые также обеспечивают воду для растительности и которые могут оказывать значительное влияние на растительные ресурсы, но которые обычно игнорируются в регрессионном анализе.

Eckert et al. (2015) провели анализ трендов временных рядов MODIS NDVI для территории Монголии. Они применили линейную регрессию для оценки трендов NDVI (normalized difference vegetation index), температуры и осадков. Авторы также провели классификацию района исследования по разным типам растительности, отмечая качественные изменения растительности со временем. Районы со значимыми трендами NDVI совпадали с районами,

где изменялся тип растительности. Авторы предполагают, что осадки оказали влияние на NDVI, т.к. места со значимыми трендами осадков (положительные и отрицательные) совпадали с районами со значимыми трендами NDVI (положительными и отрицательными соответственно), в то время как у температуры не было выявлено значимых трендов. Однако были области, где осадки и NDVI демонстрировали противоположные тренды (то есть отрицательную корреляцию), и это указывает на то, что осадки могут оказывать негативное влияние на растительность.

Тренды растительности для Внутренней Азии (территория, включающая Центральную Азию, Монголию, Алтай, Бурятию и северный Китай) были рассчитаны при помощи линейного анализа тренда временных рядов AVHRR NDVI (Mohammad et al., 2013). Были проведены корреляционные анализы между растровыми данными NDVI и осадками и между NDVI и температурой поверхности земли отдельно для разных сезонов. Максимальный коэффициент корреляции между NDVI и температурой был определен в весеннем сезоне. Температура оказалась главным стимулирующим и ограничивающим фактором развития растительности в разных регионах. Территория Кыргызстана показала в основном положительные тренды NDVI. Однако, авторы не применяли разложение временных рядов на трендовые и сезонные компоненты, а также кросскорреляционный анализ для определения запаздывающей реакции растительности на изменения климатических факторов, возможно поэтому авторы не смогли выявить значимых корреляций между NDVI и осадками.

Анализ временных рядов растительности (NDVI), осадков и температуры также был проведен Zhao et al. (2011) для территории Синьцзяня на северо-западе Китая охватывая период 1982-2002 гг. Факторы трендов были определены при помощи метода наименьших квадратов, что дало линейное приближение пространственно-усреднённых средних значений для различных экологических подрайонов внутри района исследования. Исследователи выявили слабое увеличение NDVI по всей территории исследования. В общем, тренды NDVI показали слабую отрицательную корреляцию с трендами температуры и значимую положительную корреляцию с осадками, но коэффициенты корреляции и их значимость сильно различались между различными экологическими подрайонами. Самое большое увеличение NDVI было зарегистрировано на Алтае и Тянь-Шане, ему сопутствовало значимое увеличение температуры и осадков. В районах Джунгара и Тарима тоже отмечается увеличение NDVI. По типам растительности самый большой рост NDVI был зарегистрирован на сельскохозяйственных и лесных территориях. Был проведен анализ между разными временами года, однако единственная значительная положительная корреляция NDVI и температуры была с температурой предыдущей зимы, это может быть потому, что авторы не использовали кросскорреляционный анализ. Напротив, NDVI и осадки показали значительную положительную корреляцию между всеми сезонами, кроме осени. Это означает, что осадки являются основным фактором, контролирующим сезонные колебания растительности, однако кросскорреляционный анализ мог бы выявить больше закономерностей.

Другое исследование по анализу временных рядов NDVI и осадков в Центральной Азии было сделано Propastin et al. (2008b). Авторы попытались отделить тренды NDVI, обусловленные осадками, от трендов, вызванных деятельностью человека, для расчета степени воздействия человека на окружающую среду. С этой целью они исследовали тренды NDVI и осадков, выполнив регрессионный анализ с NDVI в качестве зависимой переменной и осадков в качестве предиктора для каждого пикселя отдельно, в результате получили пространственные временные ряды остатков. Сама линия регрессии указывает тренд, обусловленный осадками, а остатки – тренд, обусловленный деятельностью человека. Далее, тренд остатков оценивался с помощью метода наименьших квадратов. Предполагая положительную корреляцию между осадками и NDVI, увеличение остатков регрессии будет указывать на снижение отклика NDVI на осадки. Авторы показывают, что большая часть изменчивости NDVI в Центральной Азии в период 1982-2000 гг. была обусловлена осадками. Общую тенденцию

к увеличению NDVI в большей части Центральной Азии можно объяснить снижением активности человека из-за распада Советского Союза. Авторы считают, что осадки являются основным контролирующим фактором NDVI, и подтверждают этот вывод тем фактом, что около 75% площади имеет значимую связь с осадками, что делает осадки основным фактором, контролирующим растительность из всех рассматриваемых переменных.

Еще один способ взглянуть на тренды растительности - провести временное и пространственное усреднение по сезонам и типам растительности соответственно. Du et al. (2015) провели анализ трендов NDVI для региона Синьцзянь в Китае используя линейный регрессионный анализ. Авторы разделили временной ряд NDVI на несколько периодов с возрастающей продолжительностью и рассчитали линейный тренд для каждого. Они также рассчитали тренды для разных сезонов, рассматривая их отдельно за весь исследовательский период. Положительные тренды NDVI были выявлены летом и осенью. Среди разных типов растительности наибольшие темпы прироста NDVI показали кустарники и леса. Области с положительными трендами были географически больше, чем области с отрицательными трендами. Области с положительными трендами также увеличились в размерах в течение 30-летнего периода исследования. NDVI вегетационного периода показал значительную корреляцию с осадками и температурой, однако значимость корреляций варьировалась в зависимости от сезона и типа растительности. Было определено, что комбинация условий температуры и осадков ограничивает рост NDVI.

Gessner et al. (2013) провели глубокий анализ реакции растительности в Центральной Азии на изменения осадков используя кросскорреляционный анализ учитывая как разные временные задержки (лаги) так и разные периоды накопления осадков (сумма осадков за несколько месяцев) и различные типы растительности. Авторы использовали временные ряды AVHRR NDVI для аппроксимации изменений растительности и пространственные данные осадков GPCC. Результаты показали, что богарные сельскохозяйственные угодья и пастбища более чувствительны к осадкам, чем орошаемые сельскохозяйственные угодья. Отставание реакции растительности на изменения осадков для Центральной Азии варьировалось от одного до трех месяцев, и наиболее сильные связи были обнаружены с накопленными осадками за два-четыре месяца. Исследование также охватывало бассейн реки Исфары и показало, что сезон дождей длится с мая по сентябрь, а максимальный коэффициент корреляции (с учетом различных лагов) был между NDVI и осадками, накопленными за 3 месяца с лагом тоже в 3 месяца, составил 0,4-0,6.

Более позднее и детальное исследование, проведенное Kulikov and Schickhoff (2017) концентрируется на территории Кыргызстана, где авторы использовали сезонное и трендовое разложение временных рядов MODIS NDVI, температуры поверхности и осадков (GPCC) с дальнейшим анализом кросскорреляции, регрессионным анализом и пространственным кластерным анализом на основании данных о взаимодействии растительности и климатических факторов. Территория бассейна реки Исфара меньше контролируется климатическими факторами, чем в других районах Кыргызстана, в основном из-за наличия ирригационных систем. Район был помещен в тот же кластер, что и другие сельскохозяйственные районы, что выявило сходные модели взаимодействия растительности и климата с немедленной реакцией сезонного компонента растительности на температуру и задержкой реакции на осадки на 3-4 месяца.

Эти исследования показывают, что растительность в значительной степени контролируется климатическими факторами, но анализ поведения пахотных земель во времени может выявить различные закономерности, в основном из-за орошения, которое редко учитывалось. Следует также учитывать замедленное воздействие климатических факторов на растительность, а также различные отношения сезонных и трендовых компонентов временных рядов данных о растительности и климатических факторов. В целом, различные классы расти-

тельности указывают приблизительно на трёхмесячную задержку реакции на изменения осадков и почти немедленную реакцию на изменения температуры. Тем не менее, влияние орошения на развитие растительности еще предстоит изучить, что крайне необходимо, так как большая часть сельского хозяйства в Центральной Азии зависит от орошения, а речная вода является наиболее важным ресурсом, способствующим орошению в регионе.

## СТОК РЕКИ ИСФАРА И ЕГО РЕАКЦИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

### Данные и методы

Мы использовали исторические данные по стоку реки Исфара (GRDC, 2019), чтобы оценить реакцию стока реки Исфара на климатические факторы, такие как температура и осадки. Набор данных представляет среднемесячный расход в м<sup>3</sup>/с, охватывающий период 1933-1991 гг., что составляет 59 лет непрерывных наблюдений на станции Таш-Курган (Е70,62°, N40,2°, 1283 м н.у.м.), предоставленных GRDC (2019), Площадь водосбора составляет 1560 км<sup>2</sup>. Другой набор данных о месячном стоке за период 1999-2018 гг. был получен у Баткенского водхоза (Баткенское Бассейновое Управление Водного Хозяйства) Кыргызской Республики. В период с 1991 по 1999 год данные не собирались из-за сложной экономической и политической ситуации в регионе.

Климатические данные, использованные для этого анализа, представляют месячные значения осадков, собранные на метеостанции Тангиворух (Е70,55°, N39,85°, 1311 м н.у.м.) за период 1943-1988 гг., и среднемесячные значения температуры, собранные на той же станции за 1948-1988 гг. (Williams and Kononov, 2018). В данных было несколько случайных пробелов, которые были заполнены средними значениями соответствующего месяца за три предыдущих и три последующих года.

Все наборы данных представляют собой временные ряды ежемесячных значений, которые временно перекрываются, но начинаются и заканчиваются в разное время. Период перекрытия охватывает время временного ряда температуры, т.е. 1948-1988 гг. Таким образом, взаимодействия различных факторов (месячный сток, осадки и температура) были оценены в периоде 1948-1988 гг., а тренды отдельных переменных были оценены на основе всех данных, доступных для соответствующей переменной.

Временные ряды каждой переменной (сток, температура, осадки) были разложены на трендовый, сезонный и остаточный компоненты с пакетом «mstl» (multiple seasonal decomposition) входящим в состав R-3.5.3 (R Core Team, 2016), который допускает множественную сезонность и извлекает сезонные компоненты с помощью STL (seasonal-trend decomposition based on loess; Cleveland et al., 1990), который реализован в пакете «forecast» в составе R-3.5.3 (R Core Team, 2016). Мы использовали этот метод, потому что временные ряды относительно длинные и может иметь место множественная сезонность. Затем мы использовали кросскорреляционный анализ отдельно для трендовых и сезонных компонентов, чтобы идентифицировать взаимосвязи между переменными на межгодовом и сезонном уровнях.

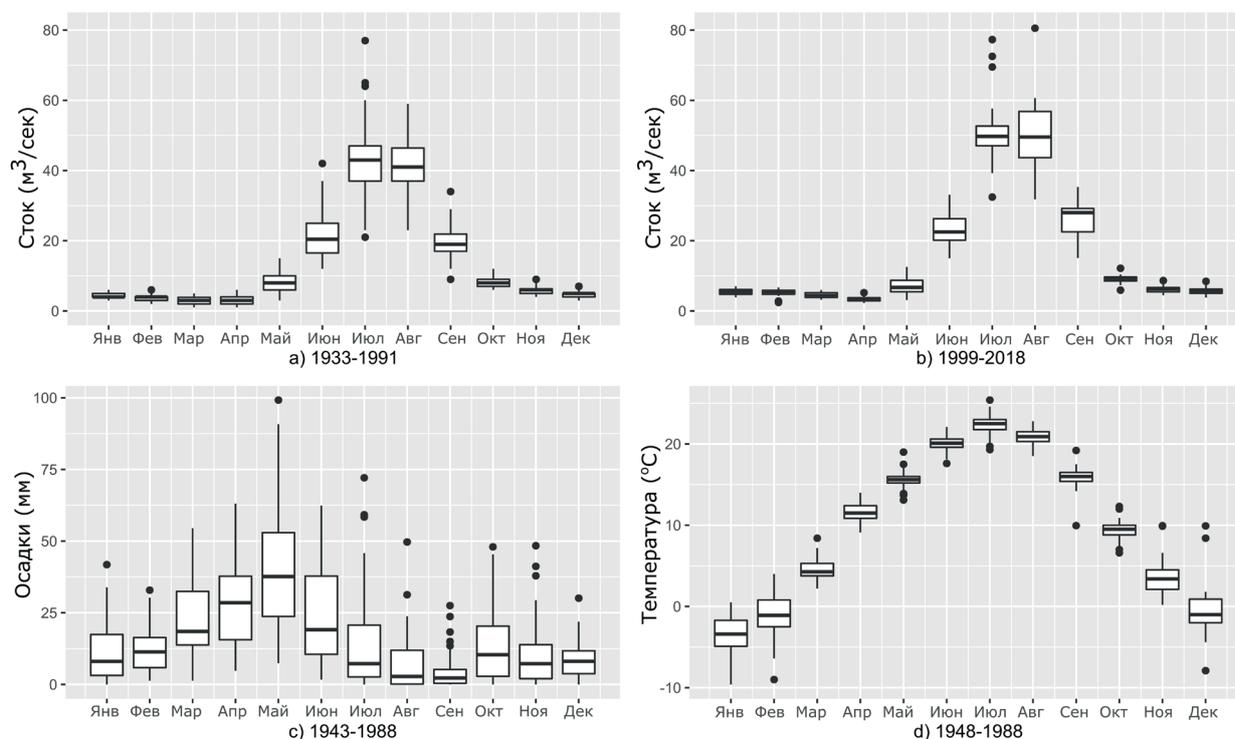
В кросскорреляционном анализе использовался корреляционный анализ Пирсона между современными наблюдениями двух переменных временных рядов. Кроме того, он выполняет корреляционный анализ, используя сдвиги запаздывания (лаги), то есть проводит корреляционный анализ между наблюдениями одной переменной и предшествующими (или последующими) наблюдениям второй переменной, для оценки отложенных (лаговых) отношений двух переменных. Такой сдвиг называется лагом и измеряется в единицах време-

ни - в нашем случае в месяцах. Таким образом, «1-месячный лаг» будет означать, что наблюдения первой переменной предшествуют наблюдениям второй переменной на 1 месяц, и корреляционный анализ проводится между текущими наблюдениями одной переменной и последующими наблюдениями другой.

Мы также провели двухвыборочный t-тест Уэлча для переменных с разной дисперсией чтобы сравнить средние значения стока двух разных наборов данных (1933-1991 гг. и 1999-2018 гг.) для каждого месяца отдельно с доверительным интервалом в 95%.

## Результаты

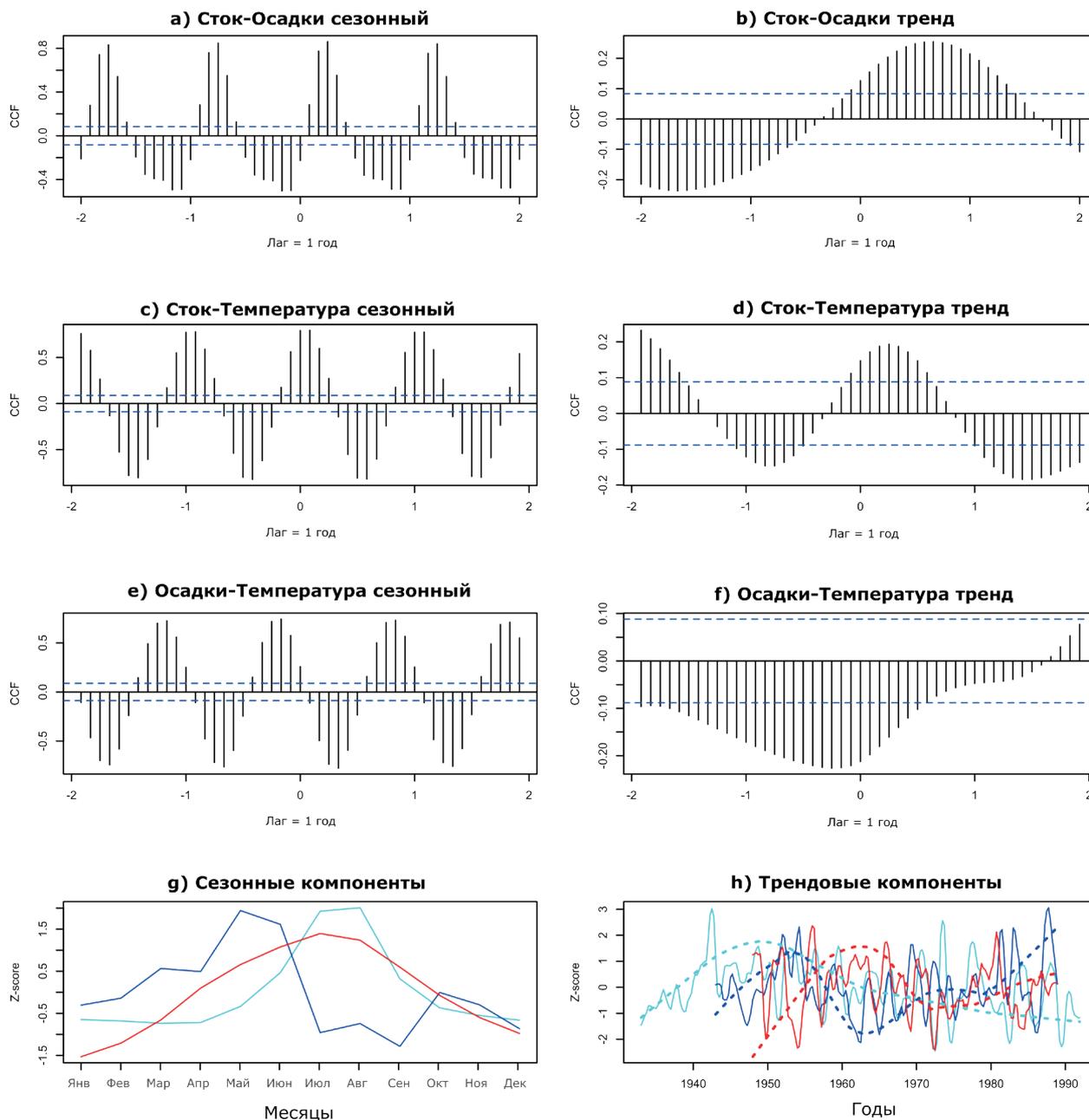
Сток Исфары вместе с температурой и осадками показывают четкую сезонность (Рисунок 4). Сток летом больше, чем в другие сезоны, и имеет большую изменчивость, вероятно, из-за разного количества снега от года к году, что можно увидеть по разнице между средними значениями стока летом при сравнении периодов 1933-1991 и 1999-2018 годов (Рисунок 4 а и б). Результаты t-теста показывают, что сток реки Исфара не изменился в апреле, мае, июне, октябре и ноябре, в то время как другие месяцы указывают на статистически значимое увеличение с периода 1933-1991 гг. до периода 1999-2018 гг. (Таблица 1). Увеличение стока происходит в самый жаркий и самый холодный сезон, что может быть связано с увеличением среднегодовой температуры (см. раздел «Ледники и речной сток в Центральной Азии») или увеличением осадков (см. раздел «Реакция растительности на абиотические факторы в бассейне реки Исфара»). К сожалению, данные о температуре и количестве осадков за период 1999-2018 гг. отсутствуют, чтобы проверить эту гипотезу. Это изменение также может быть связано с тем, что наборы данных поступают из разных источников.



**Рисунок 4. Месячное распределение осадков, температуры воздуха и стока реки Исфара.**

Кросскорреляционный анализ трендовых и сезонных компонентов переменных показывает, что сезонные компоненты стока и осадков имеют слегка отрицательную корреляцию при лаге 0 (-0,23) и большую положительную корреляцию при 3-месячном лаге (0,86), что означает, что коэффициент корреляции стока и осадков 3 месяцами ранее составляет 0,86

(Рисунок 5 а). Это также видно по сезонному пику стока (голубая линия, Рисунок 5 г), который отстает на три месяца от сезонного пика осадков (синяя линия, Рисунок 5 г). Однако корреляция сезонных компонентов стока и температуры является наибольшей при лаге 0 и 1-месячном лаге - 0,790 и 0,793 соответственно (Рисунок 5 с), что означает, что сток положительно коррелирует с осадками 3 месяцами ранее и положительно коррелирует с температура в это же время. Трендовая составляющая стока также показывает положительную корреляцию как с температурой, так и с осадками при нулевом лаге. Однако наибольший коэффициент корреляции для осадков наблюдается с 8-месячным лагом (Рисунок 5 б), когда коэффициент корреляции составляет 0,255 между стоком и осадками 8 месяцами ранее.



**Рисунок 5. Кросскорреляционные диаграммы трендовых и сезонных компонентов исторических данных (1933-1991) (красный – температура, синий – осадки, голубой – сток, синяя горизонтальная пунктирная линия – уровень значимости), жирные пунктирные кривые являются сглаженными трендовыми компонентами соответствующих переменных. Лаг на графике = 1 год, в то время как в тексте лаг = 1 месяц. Коэффициент корреляции при лаге k между переменными x-y является корреляцией между  $x[t+k]$  и  $y[t]$ .**

Кросскорреляционные диаграммы трендовых и сезонных компонентов показывают, что осадки в апреле-июле являются основным источником воды в реке Исфара, и что снегопад в ноябре-феврале играет второстепенную роль в формировании стока, поскольку коэффициенты корреляции сезонных компонент с 3-х месячным лагом больше, чем у трендовых компонент с 8-ми месячным лагом. Это связано с тем, что часть снегопада способствует образованию ледников и снежников, насыщает почву и испаряется из-за медленного сброса в период абляции, тогда как дождевая вода может достигать реки гораздо быстрее. К сожалению, невозможно оценить пропорции осадков и таяния ледников в стоке реки, так как нет данных о таянии ледников.

Трендовые компоненты стока и температуры имеют слабую положительную корреляцию при нулевом лаге (0,147) и более сильную корреляцию при 3-х месячном лаге (0,193) (Рисунок 5 d). Таким образом, у сезонных компонент более высокий коэффициент корреляции (Figure 5 a, c), что означает, что речной сток определяется сезонностью температуры и осадков в большей степени, чем колебаниями среднегодовых значений климатических факторов. Это указывает на то, что количества воды, накопленного в ледниках и снежниках в верховьях реки Исфара, было достаточно для обеспечения стабильного стока в прошлом.

Сглаженный трендовый компонент стока демонстрирует стабильный рост с 1933 до 1950 г, затем следует стабильный спад с 1950 до 1991 г. (голубая пунктирная кривая, Рисунок 5 h), что может противоречить результатам в разделе «Реакция растительности на абиотические факторы в бассейне реки Исфара» (Рисунок 4 a и b), либо означать смену тренда на положительный после 1991 г. т.к. температура и осадки тоже имеют положительные тренды в 1988 г. (красная и синяя пунктирные кривые, Рисунок 5 h) а сток имеет положительную корреляцию с осадками и температурой (Рисунок 5 b и d).

**Таблица 1. Результаты двухвыборочного t-теста Уэлча для переменных с разной дисперсией, сравнение средних значений стока реки Исфара по месяцам 1933-1991 и 1999-2018 гг.**

	<b>Январь</b>	<b>Февраль</b>	<b>Март</b>	<b>Апрель</b>	<b>Май</b>	<b>Июнь</b>
t	-4.98	-5.63	-7.08	-1.35	1.27	-1.08
df	28.16	24.98	37.43	57.51	37.35	44.39
p	2.84e-05	7.34e-06	2.02e-08	0.17	0.21	0.28
	<b>Июль</b>	<b>Август</b>	<b>Сентябрь</b>	<b>Октябрь</b>	<b>Ноябрь</b>	<b>Декабрь</b>
t	-3.12	-3.35	-5.33	-1.98	-1.55	-3.57
df	31.00	25.85	28.96	37.66	35.36	30.94
p	0.003	0.002	1.002e-05	0.054	0.12	0.001

Сезонные компоненты осадков и температуры имеют слабую положительную корреляцию при нулевом лаге. Интерпретация взаимной корреляции сезонных компонент температуры и осадков не имеет большого практического смысла, поскольку эти параметры обусловлены годовыми циклами и не тесно взаимосвязаны, поэтому их диаграмма взаимной корреляции представлена только для справки (Рисунок 5 e). Однако их трендовые компоненты указывают на наибольший отрицательный коэффициент корреляции -0,226 с лагом в -3 месяца, то есть осадки, предшествующие температуре на 3 месяца. Это указывает на то, что в среднем годы с большим количеством осадков будут в среднем холоднее.

## РЕАКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ИСФАРА

### Данные и методы

#### Данные дистанционного зондирования и абиотических факторов

Мы использовали временные ряды космических снимков LANDSAT8 с апреля 2013 по декабрь 2018 для расчёта временных рядов NDVI (англ. - normalized difference vegetation index, русс. - нормализованный относительный индекс растительности) этого периода. NDVI широко используется как величина, отражающая изобилие зелёной растительности, получаемая методом дистанционного зондирования земли. Идея этого индекса основана на разнице отражательной способности зелёной растительности в красном (RED) и околоинфракрасном (NIR) спектральном диапазоне и рассчитывается согласно следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

где:

*NDVI* – нормализованный относительный индекс растительности

*NIR* – отражательная способность в околоинфракрасном диапазоне (LANDSAT8 канал 5)

*RED* – отражательная способность в видимом красном диапазоне (LANDSAT8 канал 4)

Для анализа мы использовали космические снимки где облаками покрыто менее 40% площади района исследования, а одиночные облака были закрыты маской с помощью канала QA, входящего в поставку снимков LANDSAT8. Оставшиеся от маски дырки были закрыты с помощью модуля «Close Gaps with Stepwise Resampling» входящего в программу SAGA GIS (Conrad et al., 2015). Пространственное разрешение каналов LANDSAT8 было увеличено до 15 м с помощью панхроматического канала и модуля «Color Normalized Spectral Sharpening» входящего в программу SAGA GIS (Conrad et al., 2015). Полученные временные ряды NDVI имели нерегулярную околосесячную временную дискретизацию, они были передискретизированы в регулярные временные ряды с месячной частотой при помощи Pandas (McKinney and Pydata Development Team, 2019) и метода «resample» где средние значения сдвигались вперёд для заполнения отсутствующих данных в Python (Python Software Foundation, 2016). В результате были получены регулярные пространственные временные ряды NDVI с апреля 2013 г. до декабря 2018 г. с месячной частотой.

Данные по ежемесячному расходу воды реки Исфара (RNF) были получены за период с января 1999 г. до декабря 2018 г. у Баткенского водхоза (Баткенское Бассейновое Управление Водного Хозяйства) Кыргызской Республики. Поскольку эти временные ряды были регулярными и имели месячную частоту их не пришлось передискретизировать.

Данные об осадках (PRC) были собраны на Баткенской метеорологической станции и приобретены у Кыргызгидромета. Эти данные представляли из себя месячные суммы осадков и покрывали период с января 2013 г. до декабря 2018 г. и тоже не нуждались в передискретизации. Поскольку данные были собраны в одной точке – на метеостанции, они не были пространственными, но мы допустили, что они могут быть репрезентативными для всей территории исследования.

Данные о температуре поверхности земли (LST) были получены из набора данных MOD11C3 v006, который представляет собой пространственные данные о температуре/излучаемости с месячной частотой и пространственным разрешением в 0.05° полученные миссией MODIS/

Тегга, мы использовали период с января 2013 г. по декабрь 2018 г. Все пространственные данные были передискретизированы в проекционную координатную систему WGS84/UT-M42N с пространственным разрешением в 15 м с помощью метода «b-spline interpolation» в программе SAGA GIS (Conrad et al., 2015), чтобы все пространственные данные совпадали по размеру и разрешению с данными NDVI.

### **Регрессионный анализ пространственных данных**

Мы провели регрессионный анализ тренда NDVI используя время (порядковый номер растра) в качестве предиктора с помощью модуля «Polynomial Trend from Grids» в программе SAGA GIS (Conrad et al., 2015). Этот анализ представляет собой линейное приближение трендов NDVI с помощью метода наименьших квадратов для каждого пикселя в отдельности. Второй коэффициент полинома регрессионного уравнения отражает направление и силу тренда NDVI.

Мы также провели временной (не пространственный) регрессионный анализ, где NDVI был в качестве зависимой переменной, а осадки или сток или температура поверхности земли были в качестве предикторов. Предикторы были как без временных сдвигов (лаг0), так же и со сдвигами до 3 месяцев (лаг3, предикторы предшествовали по времени NDVI). Соответствующие значения  $R^2$  для каждого пикселя были затем нанесены на карту для оценки пространственного распределения прямого и отсроченного воздействия осадков, ирригации и температуры на растительные ресурсы. Как регрессионный анализ тренда, так и временной регрессионный анализ были проведены при помощи модуля «Polynomial Trend from Grids» входящего в программу SAGA GIS (Conrad et al., 2015).

### **Множественный линейный регрессионный анализ временных данных**

Мы вычислили временные ряды пространственно-усреднённых значений NDVI для сельскохозяйственных площадей (NDVI<sub>agr</sub>) (Рисунок 1) и температуры поверхности земли (LST), в результате получили одномерные временные ряды, представляющие средние значения NDVI сельскохозяйственных площадей и температуру поверхности земли на них же. Данные об осадках уже представляли из себя одномерный временной ряд.

Мы провели кросскорреляционный анализ между NDVI<sub>agr</sub>, температурой поверхности земли, осадками и стоком реки Исфара для определения лагов максимальных коэффициентов корреляции, чтобы использовать их в множественном регрессионном анализе. После этого мы сдвинули временные ряды предикторов в соответствии с лагами максимальных коэффициентов корреляции, чтобы провести множественный регрессионный анализ, где NDVI<sub>agr</sub> был в качестве зависимой переменной, а температура, сток и осадки в качестве предикторов. Другими словами, мы провели множественный регрессионный анализ, чтобы предсказать NDVI<sub>agr</sub> с помощью температуры, осадков и стока на лагах их максимальных корреляций с зависимой переменной. Это было сделано для того, чтобы определить до каких пределов NDVI сельскохозяйственных площадей определяется климатическими факторами и стоком реки Исфара.

### **Разложение на трендовый и сезонный компоненты**

Временные ряды пространственно-усреднённых значений NDVI сельскохозяйственных площадей (Рисунок 1), осадков, температуры поверхности земли и стока реки Исфара были разложены на трендовые и сезонные компоненты с помощью «stl» (Seasonal decomposition of time series by Loess) (Ripley, 2013) функции в программе R-3.5.3 (R Core Team, 2016). Полученные трендовые и сезонные компоненты были проанализированы с помощью кросскорреляционного анализа для изучения их взаимосвязей во времени.



**Рисунок 6. Полиномиальный линейный тренд NDVI (2013-2018 гг.).**

## Результаты

### Полиномиальные тренды

Анализ линейного тренда выявил как положительные, так и отрицательные тренды NDVI на сельскохозяйственных территориях (Рисунок 6). Территории с отрицательными трендами собраны вокруг города Баткен и городов Исфара и Чорку. Отдалённые поля в основном показывают положительный тренд. Вариации тренда связаны с различными земляными наделами, т.е. разнообразие наблюдается между разными участками, в то время как внутри земельного участка наблюдаются пространственно-гомогенные тренды. Это показывает, что тренды растительности сильно зависят от сельскохозяйственных мер и различаются в основном возделываемыми культурами, методами полива, используемыми удобрениями и прочими аграрными мероприятиями.

Низкогорные равнины вокруг сельскохозяйственных площадей показывают в основном отрицательный тренд NDVI (Рисунок 6). Это означает, что биомасса растительности на этих территориях сокращается, что может происходить вследствие перевыпаса скота или воздействия изменения климата.

Однако, NDVI на лугах в высокогорье (южная часть, Рисунок 6) показывает положительный тренд. Это, в свою очередь, показывает увеличение растительной биомассы в высокогорье, у истока реки Исфара, что может указывать на менее интенсивный выпас скота вследствие труднодоступности этих территорий или вследствие воздействия изменения климата и перераспределения осадков в этот район.

### Коэффициент детерминации NDVI стоком, осадками и температурой

Временной регрессионный анализ, где пространственные данные NDVI были зависимой переменной а сток реки Исфара – предиктором показали, что он обладает большим воздействием ( $R^2$ ) на сельскохозяйственные территории, достигая значения 0,8 при лаг0, чем на окружающие сухие степи (0,2) (Рисунок 7 а). Однако, на сельскохозяйственных площадях наблюдается большая пространственная изменчивость  $R^2$  вследствие человеческой деятельности, некоторые участки показывают значение 0,15 – эти участки находятся близко к поселениям, что может означать, что они используются не для сельского хозяйства, а, например, для строительства.

Сельскохозяйственные территории внизу по течению реки Исфара в Узбекистане тоже показывают больше значения  $R^2$  при лаг0 (северная часть, Рисунок 7 а), но там тоже наблюдаются высокие коэффициенты детерминации при 1-но месячном лаге (северная часть, Ри-

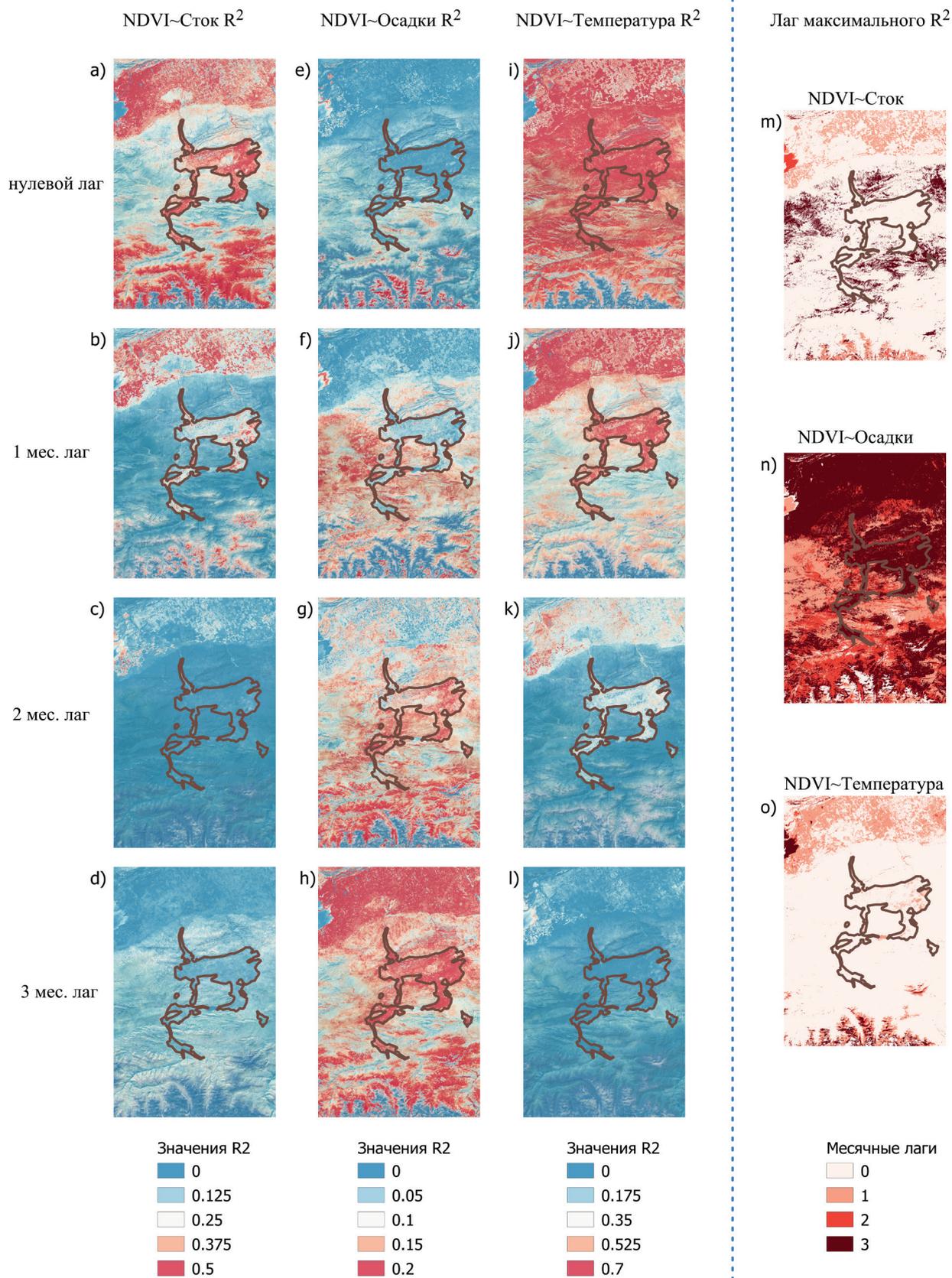


Рисунок 7. Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) при различных лагах. Коричневая граница выделяет аграрные зоны.

сунок 7 b), это потому, что у этой территории есть ещё другой источник воды и ирригация более диверсифицирована (Сырдарья и Большой Ферганский Канал), тогда как в нашем районе исследования источник только один – река Исфара.

Горные степи и луга тоже показывают высокие значения  $R^2 \sim 0,8$  при лаг0 (южная часть, Рисунок 7 а). Это местность водосбора реки Исфара, таким образом с этих территорий собирается вода перед тем, как она поступает в реку и течёт вниз по руслу. Поскольку это происходит почти одновременно, естественная растительность на этой территории реагирует на сток одновременно с сельскохозяйственными культурами. Коэффициент детерминации NDVI стоком почти равен 0 при 2-х и 3-х месячном лаге (Рисунок 7 с и d), на сельскохозяйственных территориях этот коэффициент тоже очень низок при лаге в 1 месяц (Рисунок 7 b), что означает, что у стока почти нет отложенного во времени эффекта на сельскохозяйственные территории и пастбища. Пустынные равнины за пределами сельскохозяйственных территорий в среднем течении Исфары почти не реагируют на сток реки, т.к. они не поливаются и растительность там очень скудная. Аграрные территории на севере района исследования больше реагируют на сток при 1-но месячном лаге, вследствие, опять же, большей диверсификации источников поливной воды, тогда как растительность на полях в центре района исследования больше зависит от стока реки Исфара при нулевом лаге (Рисунок 7 m).

Осадки почти не оказывают прямого воздействия на растительность, что подтверждается низкими значениями  $R^2$ , где NDVI предсказывается осадками при лаг0 ( $\sim 0,02$ ) на аграрных территориях, и достигает всего 0,15 на некоторых пастбищных участках (Рисунок 7 e). Напротив, у пастбищ и пустынных участков более высокие значения  $R^2 (<0,25)$  при 1-но месячном лаге, но  $R^2$  на аграрных территориях всё же низкий (Рисунок 7 f). Это означает, что пастбища и пустынные участки в основном получают воду от осадков, и растительность реагирует на осадки с запаздыванием в 1 месяц (Рисунок 7 f). Значения коэффициента детерминации демонстрируют более равномерное пространственное распределение при 2-х месячном лаге, но более высокую вариативность значений (0,02-0,27) (Рисунок 7 g). Это вероятнее всего происходит вследствие смешанного воздействия осадков и стока реки, которые коррелируют друг с другом с 2-х и 3-х месячным лагом (Рисунок 5 а), т.е. максимум осадков в мае и июне даёт пик стока реки двумя-тремя месяцами позже. Это означает, что осадки также косвенно влияют на растительность через сток реки Исфара. У сельскохозяйственных территорий на севере района исследования наблюдается большая пространственная вариативность  $R^2$  (Рисунок 7 g), что также означает, что там больше разнообразия водных источников. Коэффициент детерминации NDVI осадками находится на максимуме при 3-х месячном лаге (Рисунок 7 h), достигая 0,35 особенно на аграрных территориях, что также можно отнести к смешанному воздействию осадков и последующего стока реки. На горных лугах  $R^2$  высок при лаг0 (Рисунок 7 e) и низок при больших лагах (южная часть, Рисунок 7 f, g, h), это указывает на пространственные различия влияния осадков на растительность. В среднем, осадки оказывают меньшее влияние на NDVI чем речной сток, что можно заметить сравнивая числовые границы легенд для NDVI~Сток и NDVI~Осадки (Рисунок 7), а также реакция на осадки более запоздалая (Рисунок 7 m и n). Невоплощаемые пустыни и степи также реагируют на изменения осадков с отсрочкой в 1-2 месяца (Рисунок 7 n).

Температура поверхности земли (LST) является фактором, оказывающим самое сильное и прямое воздействие на NDVI, большее, чем оказывают осадки и сток (Рисунок 7 i). Она является универсальным параметром, который воздействует на пустыни, пастбища и аграрные территории одинаково, при  $R^2$  достигающим 0,8. Это в основном потому, что фенология растений сильно зависит от температуры почвы и воздуха, а также от солнечной радиации. Однако, в отличие от остальных участков на территории исследования, аграрные участки также сильно реагируют на температуру с лагом в 1 месяц (Рисунок 7 j); это также можно отнести к смешанному воздействию температуры и стока реки. Сельскохозяйственные участки на севере территории исследования больше зависят от температуры поверхности земли с лагом в 1 месяц, чем аграрные участки в центре (Рисунок 7 o).

В общем, речной сток оказывает большее и более прямое воздействие на NDVI чем осадки (Рисунок 7 m, n), а территории вниз по течению реки Исфара, т.е. на севере района исследования, реагируют на изменения стока реки с запаздыванием в 1 месяц (Рисунок 7 m). Однако, хотя осадки оказывают меньшее воздействие на NDVI, и с отсрочкой на 2-3 месяца (Рисунок 7 n), это воздействие также частично проявляется и через речной сток. Температура поверхности земли оказывает самое большое и прямое воздействие на растительность (Рисунок 7 o), и только территории на севере района исследования реагируют с лагом в 1 месяц. Этот факт может быть отнесён к смешенному воздействию через речной сток.

### Множественный линейный регрессионный анализ

NDVI сельскохозяйственных площадей (NDVIagr) находится под сильным влиянием стока и температуры поверхности земли при лаг0 (Рисунок 7 a, i) и под слабым влиянием осадков при лаг3 (Рисунок 7 h). Поэтому был проведён множественный регрессионный анализ с NDVI в качестве зависимой переменной и стоком, температурой и осадками (последние с лагом в 3 месяца) в качестве предикторов, чтобы определить их общее воздействие на NDVIagr. Модель для множественного регрессионного анализа имела следующий вид:

$$NDVI_t \sim PRC_{t-3} + LST_t + RNF_t \quad (2)$$

где:

*NDVI* – нормализованный относительный индекс растительности

*PRC* – осадки

*LST* – температура поверхности земли

*RNF* – сток реки Исфара

*t* – время в месяцах

Скорректированный коэффициент детерминации (adjusted R<sup>2</sup>) множественного регрессионного анализа равен 0,89 (Таблица 2), это означает, что NDVI аграрных территорий почти на 90% зависит от климатических факторов и стока. Самый высокий коэффициент значимости у температуры поверхности земли (LST), далее идут сток и осадки (даже со сдвигом в 3 месяца). Похоже осадки не являются значимым предиктором (Таблица 2). Однако, осадки являются важным фактором для местной растительности, предоставляя воду для летнего стока и оказывая прямое воздействие на начало развития растительности весной. Регрессионное уравнение может быть использовано для моделирования поведения растительности в ответ на изменение климата.

**Таблица 2. Результаты множественного регрессионного анализа.**

#### Остатки:

Мин	1Q	Медиана	3Q	Макс
-0.085510	-0.014154	0.002063	0.014135	0.060183

#### Коэффициенты:

	Значение	Ст.ошибка	t-value	Pr(> t )
(Отрезок)	3.976e-02	5.880e-03	6.763	4.55e-09***
Осадки (PRC) лаг3	-1.483e-05	2.695e-04	-0.055	0.9563
Сток (RNF)	3.184e-04	1.085e-04	2.935	0.0046**
Температура земли (LST)	5.299e-03	3.659e-04	14.481	<2e-16***
Коды значимости:	0-***	0.001-***	0.01-*	0.05 '.'

Ст. ошибка остатков:	0.02774	при 65 степенях свободы (DF)		
----------------------	---------	------------------------------	--	--

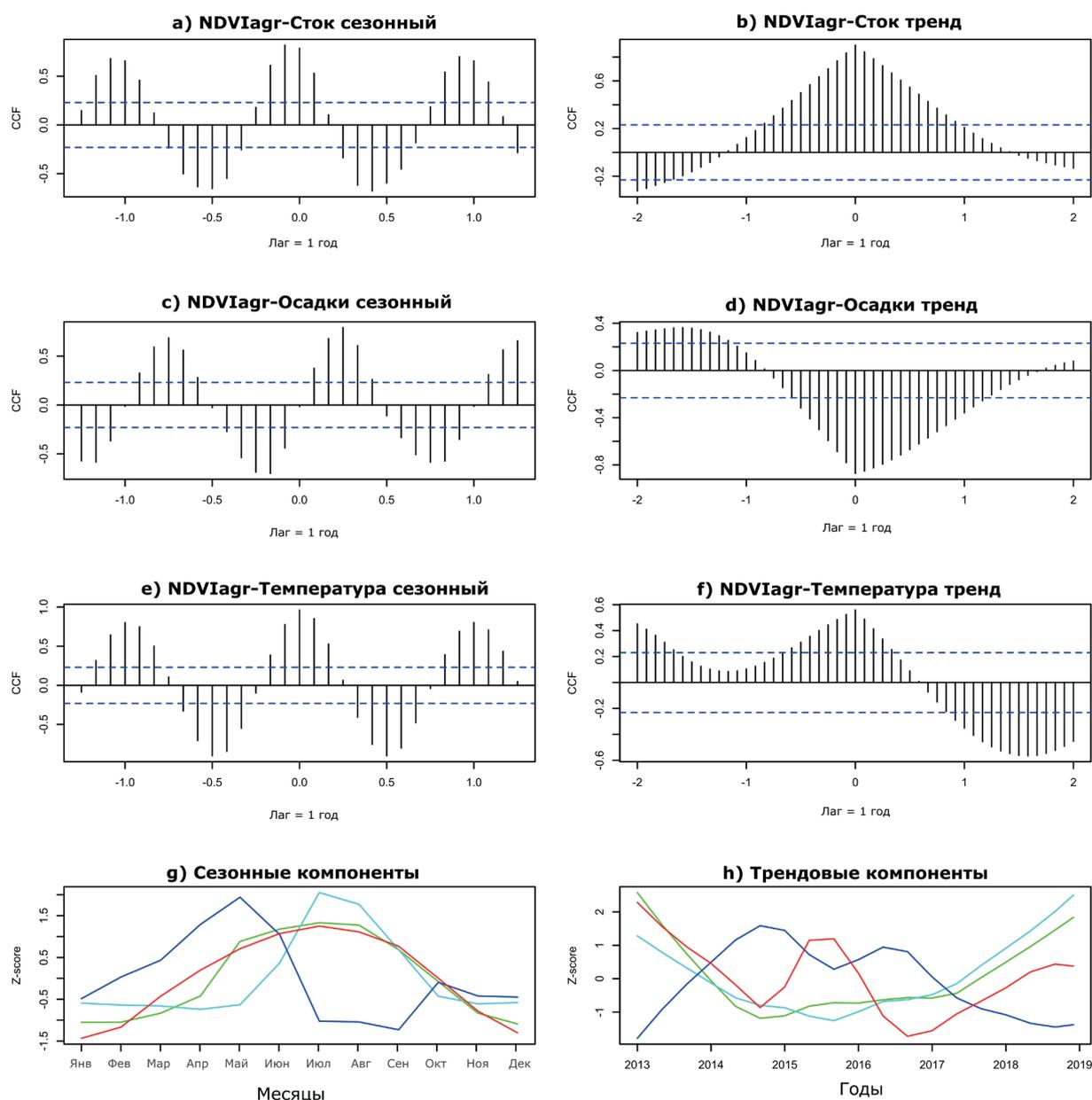
(6 наблюдений были удалены вследствие отсутствия данных из-за временного сдвига)

Множественный R <sup>2</sup> :	0.8983,	Скоррект. R <sup>2</sup> :	0.8936	
F-statistic:	191.3	при 3 и 65 DF,	p-value:	<2.2e-16

### Кросскорреляционный анализ трендовых и сезонных компонентов

NDVIagr показывает сильную положительную корреляцию со стоком как по сезонному, так и по трендовому компоненту (Рисунок 8 а, б) без каких-либо лагов. Коэффициент корреляции сезонных компонентов NDVIagr и стока составляет 0,79 при лаг0 и 0,82 с лагом в 1 месяц (NDVIagr на 1 месяц позже стока). Это можно объяснить вкладом со стороны осадков, пик которых приходится раньше пика стока (Рисунок 8 г). Коэффициент корреляции трендовых компонентов NDVIagr и стока максимален при лаг0 и достигает 0,9 (Рисунок 8 б).

Коэффициент корреляции сезонных компонентов NDVIagr и осадков при лаг0 составил -0.015, а самый высокий коэффициент корреляции составил 0,79 при лаге в 3 месяца



**Рисунок 8. Кросскорреляционные диаграммы трендовых и сезонных компонентов современных данных (2013-2018) (красный – температура, синий – осадки, голубой – сток, зелёный – NDVI, синяя горизонтальная пунктирная линия – уровень значимости). Лаг на графике = 1 год, в то время как в тексте лаг = 1 месяц. Коэффициент корреляции при лаге k между переменными x-y является корреляцией между  $x[t+k]$  и  $y[t]$ .**

(NDVI<sub>lag</sub> на 3 месяца позже осадков). Отсроченная реакция NDVI<sub>lag</sub> на изменения осадков указывает на их косвенное влияние через сток и на тот факт, что максимум осадков приходится на весну, когда растительность только начинает развиваться вследствие естественной фенологии, которая регулируется температурой воздуха и низким уровнем осадков в нижних частях бассейна (Рисунок 4 с). Однако, трендовые компоненты NDVI<sub>lag</sub> и осадков показывают отрицательную корреляцию с наименьшим (наибольшим абсолютным значением) коэффициентом корреляции величиной  $-0.87$  наблюдаемым при лаг0, и остающимся на сравнимом уровне в течение следующих 3-х месячных лагов (Рисунок 8 d). Отрицательная корреляция трендовых компонентов объясняется отрицательной корреляцией между осадками и температурой (Рисунок 5 f), что показывает, что годы с большим количеством осадков будут в среднем холоднее (и наоборот), и что температура оказывает большее воздействие на растительность, чем осадки (Таблица 2).

Сезонные компоненты NDVI<sub>lag</sub> и температуры поверхности земли имеют сильную положительную корреляцию с коэффициентом  $0,96$  при лаг0 (Рисунок 8 e). У трендовых компонентов тоже значимая положительная корреляция с коэффициентом  $0,56$  при лаг0 (Рисунок 8 f). Это, опять же, указывает на то, что температура является основным фактором, влияющим на культурную растительность в районе исследования, что тоже иллюстрируется сезонными компонентами, где зелёная кривая NDVI<sub>lag</sub> очень близко следует за красной кривой температуры поверхности земли (Рисунок 8 g).

## ВОСПРИЯТИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В БАСЕЙНЕ РЕКИ ИСФАРА

### Данные и методы

Для оценки общей осведомлённости людей и их восприятия изменений климата и природных ресурсов в бассейне реки Исфара мы провели полуструктурированные интервью с местными жителями и экспертами в следующих сёлах: Ак-Сай (26 респондентов), Кок-Таш (25 респондентов), Паскы-Арык (27 респондентов), Самаркандек (21 респондент), Уч-Добо (26 респондентов) и город Баткен (3 эксперта). В общем было проведено 152 интервью.

Анкета для интервью включала вопросы для оценки общего понимания вопросов изменения климата, насколько респонденты замечают изменение климата в местах их проживания, а также некоторые социально-экономические вопросы. Важно понимать тренды экономики и народонаселения в районе исследования, а также их восприятие местными жителями, т.к. это необходимо для управления природными ресурсами и понимания будущего спроса на трудоустройство. Официальная информация не всегда доступна, репрезентативна или достаточно подробна. Анкеты были переведены на кыргызский язык и все опросы проводились либо на кыргызском языке, когда интервьюеры заполняли анкеты за респондентов, либо респонденты сами заполняли анкеты следуя техническим инструкциям интервьюеров. Используемая анкета приводится в Приложении I. Респонденты могли пропустить любой вопрос, если им было неудобно отвечать на него и им было не обязательно предоставлять личную информацию. Когда бы ни была предоставлена личная информация, это делалось добровольно. Личная и другая чувствительная информация не передавалась никакой третьей стороне и обрабатывалась исключительно членами исследовательской группы.

Местные жители, участвовавшие в интервью, выбирались случайным образом из людей, которых мы встречали на улицах, в домохозяйствах, среди продавцов или покупателей в сельских магазинах или на базарах, среди посетителей государственных учреждений, учителей в школах и детских садах. Таким образом мы попытались отразить всё разнообразие жизненного опыта, образования и видов деятельности чтобы собрать репрезентативную выборку мнений.

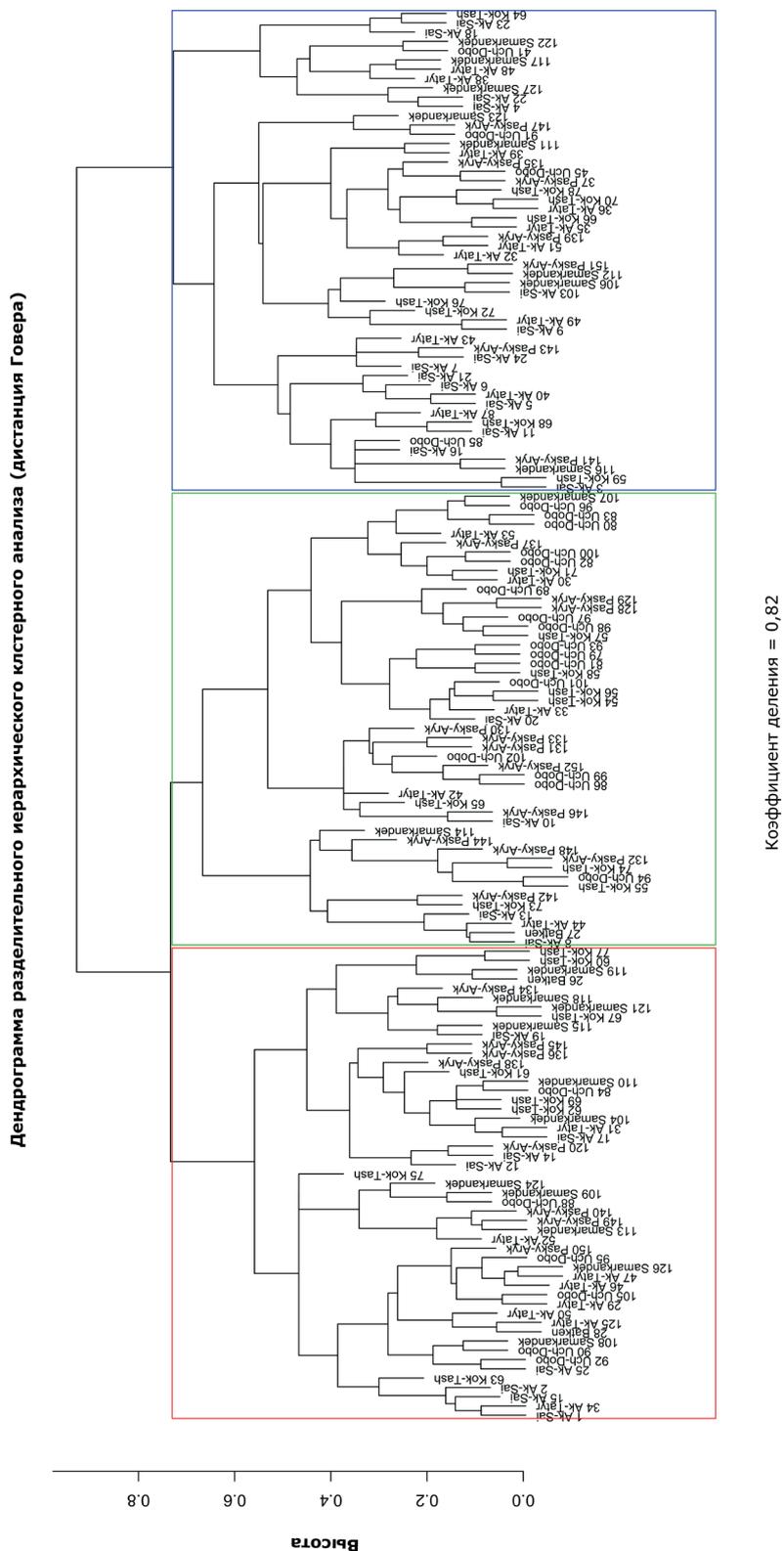
Частоты различных ответов были проанализированы с помощью теста хи-квадрат Пирсона ( $\chi^2$ ) для определения значимых отличий от случайного распределения ( $H_0$ =случайное распределение) при помощи модуля «chisq.test» в программе R (R Core Team, 2016). Тест был применён к категориальным ответам для определения статистической значимости распределения, т.е. было ли доминирование самого популярного ответа значимым или могло быть получено в результате случайности. Низкие значения  $\chi^2 p$  (<0.01) означают, что распределение ответов имеет смысл и является статистически значимым.

Мы также провели иерархический кластерный анализ, где использовали расстояние Говера (Gower's distance) в качестве метрики различия, которое применяется для кластеризации номинативных данных для определения их внутренней структуры. Мы использовали климатические, экологические и экономические вопросы (вторая страница Приложения I) в качестве переменных для кластеризации и исключили вопросы, относящиеся к знаниям об изменении климата (первая страница Приложения I) для того, чтобы кластеризация проводилась на основании наблюдений респондентов а не на основании их знаний (Таблица 3 Переменные).

## Результаты

Из 152 респондентов 85 человек слышали об изменении климата, а 48 – не слышали, 19 человек не дали ответа. Самым популярным источником информации об изменении климата было телевидение, далее Интернет, т.е. ненадёжные источники информации. Относительно понимания того, что изменение климата означает, самое большое количество респондентов (50) ответили, что погода будет жарче и будет меньше дождя, и 41 респондент также думает, что в реках будет меньше воды. Это 3 самых популярных ответа на вопрос «Что такое изменение климата?» которые показывают, что в основном у людей есть понимание последствий изменения климата и что в основном оно воспринимается негативно. Пять наиболее популярных ответов на вопрос «Как изменение климата скажется на жизни» это: «Будет меньше урожая» (49%), «Люди будут болеть» (49%), «Деревья будут болеть» (43%), «Будет меньше травы» (33%) и «Скот будет болеть» (28%). Эти ответы явно указывают, что респонденты воспринимают воздействия изменения климата как негативные.

Причины, приводящие к изменению климата, согласно респондентам: «Неизвестны», что означает, что никто не знает причин изменения климата (38% респондентов); потому, что «люди много потребляют [природных ресурсов]» (23% респондентов); изменение климата – это естественный процесс (22% респондентов); и потому, что «Люди загрязняют воздух» (20% респондентов). Однако, относительно того, что должно быть сделано, чтобы уменьшить изменение климата большинство думает, что нужно сажать больше деревьев (61%, 93 респондента), что нужно сократить количество автомобилей (31%) и что не надо ничего делать (20%). Это показывает, что в общем у людей мало представления о причинах изменения климата, но что они понимают экологическую пользу от посадки деревьев и сокращения использования транспорта с двигателями внутреннего сгорания. Поскольку посадка деревьев и сокращение количества автомобилей являются важными действиями



**Рисунок 9. Дендрограмма разделительного иерархического кластерного анализа (расстояние Говера). Кластер 1 - красный, кластер 2 – зелёный, кластер 3 – синий. Для кластерного анализа использовались переменные восприятия респондентами изменения климата, природных ресурсов и источников дохода. Рисунок показывает 3 различных кластера, которые оказались связанными с сёлами проживания респондентов.**

для борьбы с изменением климата, респонденты неосознанно затронули вопросы, которые важны для адаптации к изменению климата и их ответы показывают понимание действий, которые ведут к общему сокращению вреда природе. Телевидение было названо основным источником информации в сёлах, и поэтому оно может эффективно использоваться для повышения понимания причин, воздействия и последствий изменения климата.

Что касается наблюдаемых изменений природы, большинство респондентов (64%) сказали, что количество снега, которое выпадает ежегодно, сократилось, количество дождей тоже сократилось (39%) и что средняя годовая температура выросла (35%). Таким образом, самыми очевидными изменениями были сокращение осадков, а рост температуры был менее очевиден, эти наблюдения соответствуют нашему анализу трендов (см. Рисунок 8 h). Среди основных тревог, связанных с природными ресурсами, выделяется увеличение болезней деревьев (58%, 88 респондентов), сокращение травы на пастбищах (44%), сокращение поливной воды в арыках (42%) и сокращение урожаев сельскохозяйственных культур (42%).

Относительно более детальной оценки изменения климата на местном уровне, большинство респондентов (72%) из всех сёл указали, что зимние осадки (снег) сократились за последние годы (нет ответа – 4% респондентов, увеличились – 18%, не изменились – 6%, сократились – 72%,  $\chi^2 p < 2.2e-16$ ), что весенние дожди сократились (48% респондентов,  $\chi^2 p = 7.206e-11$ ) и что летние дожди сократились (43% респондентов,  $\chi^2 p = 5.82e-10$ ), и что осенние осадки не изменились (41% респондентов,  $\chi^2 p = 1.151e-08$ ). Эти наблюдения согласуются с трендовым компонентом осадков (Рисунок 8 h). В разговорах люди отмечали, что в последние годы выпадает намного меньше снега чем раньше, что также согласуется с измерениями на Баткенской метеорологической станции (Рисунок 8 h), однако у нас нет отдельных данных по снегу, чтобы напрямую поддержать это наблюдение и количество осадков может отличаться в верховьях реки Исфара.

Большинство респондентов согласно, что температура летом стала выше (78% респондентов,  $\chi^2 p < 2.2e-16$ ) и зимы стали теплее (65% респондентов,  $\chi^2 p < 2.2e-16$ ). Мнения относительно увеличения температуры в других сезонах не такие однозначные, большинство респондентов верит, что температура не изменилась осенью (42% респондентов,  $\chi^2 p = 8.623e-11$ ) и весной (нет ответа – 9%, жарче – 41%, не изменилась – 41%, холоднее – 9%). Мнения по поводу летних и осенних температур разделились между различными сёлами, жители Ак-Сая, Ак-Татыра и Уч-Добо думают, что летом и осенью стало теплее, а жители Кок-Таша, Паскы-Арыка и Самаркандка думают, что температура не изменилась.

Большинство респондентов считает, что количество скота увеличивается в последнее время (53%), что согласуется с результатами отрицательного тренда NDVI на пастбищах, причиной которого является перевыпас (Рисунок 6). Респонденты говорят, что основной причиной увеличения количества скота является недостаток альтернативных источников дохода. Другие исследования тоже показали, что основной причиной увеличения количества скота является недостаток других источников дохода, увеличение населения и тот факт, что скот часто рассматривается как «банк» для вложения и сохранения капитала (Crewett, 2012; Dörre and Borchardt, 2012). Относительно диких животных в горах 41% респондентов думает, что их количество сократилось, 14% думают, что их количество выросло и другие 14% думают, что оно осталось таким же, 32% не дали ответа потому, что они не знают. Дальнейшее изучение этого вопроса, как части базового исследования дикой природы, лучше проводить с охотниками или людьми, связанными с охотой, которые могли бы обладать знаниями по этому вопросу.

Согласно большинству респондентов (55%) количество деревьев в районе исследования увеличилось, в основном благодаря росту садов, которые разводятся местными жителями для получения дохода от продажи фруктов. Основной причиной рубки деревьев, по мнению респондентов, является заготовка строительных материалов для постройки новых домов. Однако, 59% респондентов заметили, что в последние годы деревья болеют чаще, чем обычно, однако 28% думают, что частота болезней не изменилась. Согласно респондентам, основной причиной болезней деревьев является монокультурность садов (фруктовые деревья в основном абрикосы), это фактор, который способствует распространению болезней и вредителей, а также недостаточная обработка деревьев, перевыпас и старение деревьев.

Пастбища являются самым важным природным ресурсом для местного населения, т.к. они предоставляют корм для скота. Почти две трети (60%) респондентов думают, что количество травы на пастбищах сокращается, это наблюдение согласуется с ответами на другие вопросы и анализом линейного тренда NDVI на пастбищах (Рисунок 6). Причинами деградации пастбищ являются увеличение скота и перевыпас, сокращение осадков и увеличение летней температуры воздуха (Borchardt et al., 2013, 2011; Dörre and Borchardt, 2012; Kulikov et al., 2016; Kulikov and Schickhoff, 2017).

Относительно урожая сельскохозяйственных культур, 46% респондентов думают, что урожаи сократились, однако 28% респондентов думают, что они не изменились. Согласно мнению респондентов основной причиной сокращения урожаев является недостаток поливной воды, эрозия почвы, чрезмерное применение химикатов, а также вредители и болезни. Также большинство респондентов полагают, что воды в реке меньше, чем раньше (55% респондентов), хотя 10% думают, что количество воды увеличилось и 36% думают, что оно не изменилось. Согласно нашему анализу тренда стока (см. Рисунок 8 h), тренд стока показывает значимое увеличение. Такое наблюдение местного населения может быть вследствие непонимания вопроса анкеты и неправильной оценки в основном из-за того, что ирригационной воды всегда было мало в этом регионе и восприятие увеличивающегося дефицита может быть спровоцировано увеличивающимися сельскохозяйственными площадями и увеличивающимся спросом на воду. Основной причиной сокращения стока, по мнению респондентов, называется сокращение осадков и ледников в то время, как основной причиной увеличения стока называется увеличение температуры воздуха усиливающие абляцию ледников. Последнее мнение поддерживается исследованиями, описанными в разделе «Ледники и речной сток в Центральной Азии». Это указывает на то, что местные жители недостаточно понимают воздействие, оказываемое изменением климата на природные ресурсы.

Что касается количества людей, проживаемых в сёлах, 45% респондентов думают, что их количество увеличивается, 30% думают количество осталось таким же и 24% думают, что оно сократилось. В Ак-Сае и Ак-Татыре респонденты с уверенностью полагают, что население увеличивается, в Кок-Таше, Паскы-Акрыке, Уч-Добо и Самарканде население осталось таким же, согласно мнению респондентов. Основной причиной увеличения популяции называется увеличение рождаемости, а основной причиной сокращения популяции называется трудовая миграция молодёжи. NatStatCom (2019a) показывает, что как городское, так и сельское население увеличивалось с 2016 г. по 2018 г., а также и эмиграция. Таким образом, мы можем заключить, что разные группы респондентов видят и описывают одно явление с разных сторон. Мы можем сказать, что в общем рождаемость увеличивается, согласно мнению респондентов, а также и местное население увеличивается, в то же время безработная молодёжь уезжает в трудовую миграцию потому, что местный рынок труда не в состоянии вместить их всех.

Относительно общих трендов доходов мнения разделились: 27% респондентов думают, что доходы у населения в среднем увеличились, 29% думают, что они не изменились, 24% думают, что доходы сократились и 20% не знают ( $\chi^2 p=0.41$ ), что означает, что общего консенсуса по трендам доходов нет. Основной причиной роста доходов называются переводы трудовых мигрантов, а основной причиной сокращения доходов называется безработица. Жители сёл Ак-Сай и Ак-Татыр, снова, согласны, что доходы выросли, в то время как жители села Кок-Таш считают, что доходы сократились, а респонденты из сёл Уч-Добо, Паскы-Арык и Самаркандек считают, что доходы населения в среднем не изменились.

**Таблица 3. Сводка результатов разделительного иерархического кластерного анализа (Рисунок 9) с использованием дистанции Говера в качестве метрики различия. Указаны самые популярные ответы по восприятию каждого параметра внутри каждого кластера.**

Переменная	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3
Село (не используется в кластерном анализе)	Самаркандек	Паскы-Арык, Уч-Добо, Кок-Таш	Ак-Сай, Ак-Татыр
Летняя температура	увеличивается	увеличивается	увеличивается
Весенняя температура	не изменяется	не изменяется	не изменяется
Осенняя температура	не изменяется	не изменяется	не изменяется
Зимняя температура	увеличивается	увеличивается	увеличивается
Летние осадки	уменьшается	уменьшается	не изменяется
Весенние осадки	уменьшается	уменьшается	увеличивается
Осенние осадки	уменьшается	не изменяется	не изменяется
Зимний снег	уменьшается	уменьшается	увеличивается
Количество скота	увеличивается	не изменяется и уменьшается	увеличивается
Количество деревьев (сады)	увеличивается	не изменяется и уменьшается	увеличивается
Болезни деревьев	увеличивается	не изменяется	увеличивается
Трава на пастбищах	уменьшается	уменьшается	не изменяется и уменьшается
Урожай сельхоз культур	не изменяется и уменьшается	не изменяется и уменьшается	не изменяется и увеличивается
Население	увеличивается	не изменяется и уменьшается	увеличивается
Вода в реке	уменьшается	уменьшается	не изменяется
Доходы населения	увеличивается	не изменяется и уменьшается	не изменяется и увеличивается
Жизнь будет	хуже	лучше/хуже	не изменится и лучше
Основной доход	садоводство	садоводство	животноводство

Мнения о благополучии в будущем опять разделились между хорошими и плохими ожиданиями, 39% респондентов думают, что жизнь станет хуже в будущем, 16% думают, что всё останется так же, 32% думают, что жизнь станет лучше и 13% не знают. Основной причиной веры в улучшение жизни называются «мы должны стараться», что не причина, а скорее отношение. Другими реже называемыми причинами улучшения жизни называются «переводы трудовых мигрантов» – респонденты думают, что это хороший способ заработать стартовый капитал для начала бизнеса, «современные технологии», что они улучшат качество жизни, а также «вера в молодое поколение», что молодые и умные люди улучшат экономическую ситуацию. Самой часто называемой причиной ухудшения качества жизни в будущем называется деградация природных ресурсов и недостаток поливной воды, что сократит урожай и создаст безработицу и коррупцию.

Садоводство было названо главным основным источником доходов в сёлах чуть меньше, чем половиной респондентов (49%), а скотоводство было на втором месте среди основных источников дохода (37% респондентов). Выращивание сельскохозяйственных культур было самым важным второстепенным источником дохода (28% респондентов). Эти ответы указывают на то, что садоводство является основным источником дохода в регионе (на основании 152 интервью), в отличие от других регионов, где скотоводство ожидается быть самым важным источником доходов. Это также указывает на то, что независимо от главного источника дохода, сельские жители также полагаются на выращивание сельскохозяйственных культур. Удивительно, но всего 11% респондентов назвали переводы трудовых мигрантов в качестве главного источника доходов, и 13% в качестве второстепенного источника дохода. Таблица сопряжённости показывает, что основным наиболее часто упоминаемым источником дохода в селе Ак-Сай является животноводство (39% респондентов из Ак-Сая) а в Ак-Татыре это животноводство и садоводство (каждый по 29% респондентов из Ак-Татыра), однако садоводство наиболее часто упоминается как главный источник дохода в сёлах Кок-Таш (56%), Самаркандек (52%), Паскы-Арык (56%) и Уч-Добо (69%). Таким образом видно, что Ак-Сай и Ак-Татыр дали похожие ответы и что они отличаются от ответов в сёлах Кок-Таш, Самаркандек, Паскы-Арык и Уч-Добо. Похоже, что Ак-Сай и Ак-Татыр более ориентированы на животноводство, хотя Кок-Таш, Самаркандек, Паскы-Арык и Уч-Добо более ориентированы на садоводство (Таблица 3).

Разделительный иерархический кластерный анализ с дистанцией Говера в качестве метрики различия выделил в наблюдениях три больших кластера (Рисунок 9). Кластеры определяются в основном географическим распределением респондентов, и респонденты каждого села в основном попадают в один и тот же кластер, только жители села Кок-Таш почти равномерно распределились по всем трём кластерам. Мнения по поводу летних и зимних температур воздуха единодушны, где большинство респондентов во всех кластерах согласны, что температура повышается. Мнения по поводу весенних и летних температур воздуха тоже одинаковы по всем кластерам. Разница между кластерами проявляется в разных ответах об изменении осадков (Таблица 3). Ответы респондентов кластеров 1 и 2 более схожи друг с другом, в то время как кластер 3 отличается от них сильнее, что также отражается на дендрограмме (Рисунок 9).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование, представленное в этой публикации носит междисциплинарный характер, включая литературный обзор, статистический анализ исторических данных стока реки Исфара, температуры и осадков в её бассейне, статистический анализ недавних данных дистанционного зондирования (NDVI) и интервью с местными жителями относительно их наблюдений изменения климата и природных ресурсов. Анализ исторических данных даёт базовое понимание изменений стока реки Исфара и влияния осадков и температуры на него в течение долгого периода измерений. Разрыв в данных в течение 1990-х накладывает определённые ограничения на прямое сравнение недавних и исторических данных, что делает необходимым дальнейшие исследования и моделирование данных за эти годы, чтобы восполнить разрыв и лучше понять тренды стока. Однако данные дистанционного зондирования доступны для недавнего периода времени, для которого данные по стоку и климатические данные тоже доступны, что позволяет проводить исследования и анализировать взаимодействие между растительностью и факторами, оказывающими на неё воздействие. Методы разложения временных рядов, кросскорреляционный анализ и регрессионный анализ были применены к пространственным данным чтобы получить результаты, которые можно интерпретировать визуально для принятия управленческих решений и улучшения природопользования. В то же время мнение местных жителей тоже является ценным источником информации и оно может объяснить как люди наблюдают изменение климата, изменение природных ресурсов, может дать информацию об их источниках доходов чтобы эти данные использовались при разработке стратегий адаптации и повышения осведомлённости населения. В этом исследовании мы предприняли попытку рассмотреть все эти вопросы, чтобы понять социально-экологические связи во всей сложности реальности бассейна реки Исфара.

Анализ исторических данных ясно показывает отсроченную положительную корреляцию стока реки Исфара и осадков с температурой, что согласуется со многими исследованиями, проводимыми в регионе (Döll and Schmied, 2012; Gan et al., 2015; Gosling et al., 2011; Kogutenko et al., 2019; Liu and Xu, 2014; Oberhänsli et al., 2011; Sorg et al., 2012). Хотя исторические данные показывают отрицательный тренд стока (Рисунок 5 h), положительный тренд температуры и осадков и положительный коэффициент корреляции их трендовых компонентов с трендовым компонентом стока и значимо более высокие средние величины стока за последнее время (Рисунок 4 a, b) указывают на то, что сток увеличивается несмотря на мнение большинства местного населения (Таблица 3). Эти результаты также соответствуют результатам исследования ледников, которые прогнозируют увеличение стока по мере увеличения средней годовой температуры воздуха, а также потерю массы ледников (Aizen et al., 1996; Glazygin, 2015; Hagg et al., 2007; Sorg et al., 2012). Однако, после исчезновения или потери связи ледников с водотоками, сток будет сокращаться и его максимум сместится с лета на весну, т.к. большая часть стока будет формироваться напрямую от весенних осадков, а не от летней абляции. Сокращение ледников в регионе подтверждается наблюдениями за ледником Абрамова (Barandun et al., 2018, 2015). Но поскольку ледники дают 15-30% стока, то важно тоже понимать динамику снегопадов и таяния снега.

Сток реки Исфара оказывает большее прямое влияние на сельскохозяйственные площади чем осадки, в то время как осадки напрямую и в большей степени влияют на пастбища, чем сток реки. Однако, осадки всё-таки оказывают небольшое отсроченное положительное влияние на сельскохозяйственные площади. Осадки достигают максимума весной, когда растительность только восстанавливается после зимы, а рост сельскохозяйственных культур только начался, т.е. в начале вегетационного периода (Рисунок 8 g). Пик стока реки Исфара

приходится на июль и август, когда температура тоже достигает максимума и растениям требуется вода (Рисунок 8 г). Поэтому очень сложно переоценить важность рек, питающихся от снежников и ледников в регионе, так как всё сельское хозяйство зависит от ирригации.

Температура оказывает прямое положительное воздействие на сельскохозяйственные культуры и не является сдерживающим фактором, в отличие от других регионов Кыргызстана (Kulikov and Schickhoff, 2017), это может означать общую достаточность водных ресурсов для ирригации. Это также может быть индикатором того, что сельскохозяйственное производство находится на максимально возможном уровне с учётом текущей эффективности ирригационных систем. Устойчивая аграрная система и ротация культур может оказать значительное воздействие на урожаи, также как и расстояние от возделываемых площадей до сёл и ирригационной инфраструктуры (Löw et al., 2017b). Бетонированные арыки, капельное орошение и мульчирование могут значительно увеличить эффективность использования воды и влажность почвы, однако для разных видов культур подходят методы орошения (Li et al., 2015), и действительно, некоторые современные технологии уже применяются в Баткенской области (Рисунок 10). Капельное орошение по сравнению с арычным может сэкономить 28-35% воды (Darouich et al., 2014). Моделирование расписания полива может помочь ещё больше увеличить эффективность полива (Fortes et al., 2005). Однако эта тема требует дополнительного исследования.



**Рисунок 10. Выращивание арбузов с применением капельного орошения и пластикового мульчирования в Баткенской области. Местные жители инвестируют в улучшение ирригационной инфраструктуры для увеличения эффективности использования воды в растениеводстве. Фото: Гульбара Оморова.**

Трендовый компонент температуры за недавний период исследований (2013-2018 гг.) демонстрирует небольшой рост в то время, как трендовый компонент осадков демонстрирует небольшое падение (Рисунок 8 h). Сток реки Исфара и NDVI также увеличились за этот

период. Увеличение температуры и сокращение осадков отмечается также и местным населением. Ответы по поводу изменения климатических факторов единодушны среди всех групп респондентов и по всем кластерам. Однако, увеличение стока не согласуется с мнением респондентов. Сёла в низовье реки, где садоводство является основным источником дохода, считают, что количество воды в реке сокращается, однако, в сёлах в верховье реки, которые находятся близко к самой реке считают, что количество воды в реке не изменяется. Это согласуется с идеей, что сёла в низовье реки воспринимают, что количество воды в реке сокращается, что противоречит фактическим измерениям (Рисунок 8 h) и сравнению исторических и современных данных по стоку (Рисунок 4 a, b). Мы предполагаем, что это мнение основывается на увеличившейся потребности в поливной воде вследствие увеличения садов, что приводит к дефициту воды, или перераспределению воды в низовьях реки. Напротив, сёла в верховье реки, чей основной источник дохода – животноводство и кто не так сильно следит за водными ресурсами считают, что сток остаётся на том же уровне, как и в прошлые годы.

Грунтовые воды тоже могут быть ещё одним источником поливной воды. Согласно исследованиям, грунтовые воды в регионе находятся в тесной связи с поверхностным стоком (Ibrakhimov et al., 2018), давая около 62% пополнения поверхностного водоснабжения (Ibrakhimov et al., 2018). Около 23-30% потребности в ирригационной воде может быть удовлетворено на счёт неглубоких грунтовых вод (Ibrakhimov et al., 2018). В разные годы в 1990-х в Таджикистане 39% извлекаемых грунтовых вод использовалось для ирригации, в Казахстане эта цифра достигала 71%, в Китае – 54% и в Афганистане и в Пакистане – 94% (Todd Jarvis, 2013). В Кыргызстане извлечение грунтовых вод достигает 0,96 км<sup>3</sup>/год, 25% которых используется для ирригации, другие 25% для промышленности и 50% для домашнего использования (Todd Jarvis, 2013). Около 38% сельскохозяйственных площадей в мире имеют оборудование для прямого доступа к грунтовым водам (Siebert et al., 2010). Однако, если неправильно управлять грунтовыми водами, их высокий уровень может привести к засолению почв, а избыточное извлечение может привести к оскудению запасов грунтовых вод. Гидрологическое моделирование и географические информационные системы могут предоставить ценную информацию о доступности и запасах грунтовых вод и инструменты для устойчивого управления и принятия решений (Awan et al., 2017, 2013; Ibrakhimov et al., 2018). Эта область тоже требует дополнительных исследований.

Горные луга и пастбища в районе исследования испытывают сокращение растительной биомассы (Рисунок 6). Отгонное животноводство, основанное на сезонных перегонах животных, является одним из основных источников дохода в регионе и все площади, которые не используются для аграрного производства, часто используются в качестве пастбищ. Перевыпас может привести к значительным потерям растительной биомассы и к изменению видового состава растительности (Borchardt et al., 2013, 2011, 2010; Dörre and Borchardt, 2012) а также и к деградации почвы (Kulikov et al., 2017, 2016). Многие исследования рассматривали вопросы управления пастбищ и их влияние на растительность в Кыргызстане (Dörre, 2015; Hoppe et al., 2017, 2016a, 2016b; Isaeva and Shigaeva, 2017; Shigaeva et al., 2016; Zhurmanova et al., 2018, 2016), однако, результаты этих исследований публикуются в научных изданиях, которые не доступны для пастбищепользователей и поэтому у них мало знаний о правильных методах управления пастбищами (Levine et al., 2019, 2017). Поиск альтернативных источников дохода и создание большего количества рабочих мест, а также производство продукции с высокой добавленной стоимостью может придать больше устойчивости местной экономике (Shigaeva et al., 2018, 2007) и улучшить адаптивность местных общин к угрозам изменения климата (Xenarios et al., 2018).

Большая пространственная разнородность временных трендов NDVI (Рисунок 6) явно выделяет различные земельные наделы. Это показывает большую зависимость от методов

управления аграрными территориями, что тоже требует дальнейшего изучения. Непаханные равнинные территории показывают в основном отрицательные тренды NDVI, что можно отнести на счёт перевыпаса, как уже ранее говорилось. Однако, некоторые высокогорные пастбища демонстрируют положительный тренд NDVI (Рисунок 6, южная часть), что может означать недостаточный выпас на этих территориях вследствие инфраструктурных или иных ограничений. Это всё вопросы управления и их можно решить с помощью лучшего распределения скота на пастбище и применения сезонной ротации животных. Многие вопросы управления природными ресурсами можно решить за счёт улучшения или оптимизации практик управления и внедрения подходящих и доступных новых технологий.

Интересно, что кластер 1 респондентов (Рисунок 9), в основном жители села Самаркандек (Таблица 3), считают, что их доходы увеличиваются, несмотря на то, что это село получает меньше всего воды, т.к. вода приходит по трансграничному каналу. Кластер 1 также верит, что количество садов увеличивается, как и население. Напротив, респонденты кластера 2 считают, что население сокращается (из-за оттока трудовых мигрантов) как и доходы сельчан. Сёла входящие в кластер 3 в основном Ак-Сай и Ак-Татыр, которые находятся выше по течению, чем другие сёла и ближе к эксклаву Ворух, они указали животноводство в качестве основного источника дохода, в отличие от других сёл, где садоводство является основным источником дохода. В то же время Ак-Сай и Ак-Татыр имеют более оптимистичный взгляд на будущее местной экономики, чем другие сёла.

NatStatCom (2018a) докладывает о постепенном росте валовой прибыли сельскохозяйственного сектора. Урожай пшеницы в Баткенском районе сократился от 2784 т. в 2017 г. до 2593 т. в 2018 г. вместе с сокращением засеянной пшеницей площадей с 1818 га до 1745 га и урожайности с 15,3 до 14,9 ц/га. Валовой урожай зерновых в Баткенском районе вырос с 21 139 т. в 2017 г. до 21 299 т. в 2018 г. в основном за счёт увеличения посевных площадей с 6168 га до 6239 га, в то время как урожайность снизилась с 34,3 до 34,1 ц/га. Производство кукурузы, картофеля и овощей растёт вместе с площадью обрабатываемых земель. Урожай фруктов выросли с 22 520 т. в 2017 г. до 25 102 т. в 2018 г. вместе с площадью садов с 3663 га до 4038 га и урожайностью с 61,5 до 62,2 ц/га (NatStatCom, 2018b). В то же время аграрный сектор всей Баткенской области показывает стабильное падение валового производства с 2014 г. по 2018 г., и только производство фруктов и мяса показывает рост доходов (NatStatCom, 2019b). Эти цифры показывают общее предпочтение и рост производства фруктов и мяса в районе исследования, что указывает на переориентацию сельского хозяйства на эту продукцию.

Это междисциплинарное исследование показывает природные процессы в бассейне реки Исфара, которые управляются климатическими и экономическими факторами и оказывают прямое воздействие на местных жителей и местную экономику. Источники доходов местного населения зависят от природных ресурсов, которых и так мало, и они будут ещё сокращаться с изменением климата. Стратегии адаптации, а также диверсификации и повышения устойчивости источников дохода ещё нужно разработать. Местные жители в общем знают об изменении климата и недостаточности ресурсов и интуитивно адаптируют доходоприносящую деятельность к изменяющейся окружающей среде. Однако, растущее население требует больше ресурсов, для этого необходимо внедрять более эффективные сельскохозяйственные технологии, производить продукцию с большей добавленной стоимостью и таким образом создавать дополнительные рабочие места. Ирригационные системы могут стать более эффективными и значительно увеличить сельскохозяйственное производство, чем должны заниматься местные власти. Денежные переводы мигрантов могут быть хорошим источником инвестиций в новые технологии и альтернативные источники доходов, а также принести устойчивость и безопасность в регион.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Adyshev, M.M., Kashirin, F.T., Umurzakov, S.U., Almaev, T.M., Voronina, A.F., Grigorenko, P.G., Dzhamgerchinov, B.D., Zabiroy, R.D., Zinkova, Z.Y., Izmailov, A.E., Isabaeva, V.A., Kravchenko, A.V., Mamytov, A.M., Makhrina, L.I., Moldokulov, A.M., Murzaev, E.M., Otorbaev, K.O., Popova, L.I., Yar-Mukhamedov, G.K., Yashina, V.V., Chernova, L.I., 1987. Атлас Киргизской ССР [Atlas of the Kyrgyz SSR (vol. I)] (in Russian). Fabrika#4, Moscow.
- Aizen, V.B., Aizen, E.M., Kuzmichonok, V.A., 2007a. Glaciers and hydrological changes in the Tien Shan: Simulation and prediction. *Environ. Res. Lett.* 2. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045019>
- Aizen, V.B., Aizen, E.M., Melack, J.M., 1996. Precipitation, melt and runoff in the northern Tien Shan. *J. Hydrol.* 186, 229–251. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03022-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03022-3)
- Aizen, V.B., Aizen, E.M., Melack, J.M., 1995. Climate, Snow Cover, Glaciers, and Run-off in the Tien Shan, Central Asia. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 31, 1113–1129. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1995.tb03426.x>
- Aizen, V.B., Aizen, E.M., Melack, J.M., Dozier, J., 1997. Climatic and hydrologic changes in the Tien Shan, central Asia. *J. Clim.* 10, 1393–1404. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<1393:CAHCIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<1393:CAHCIT>2.0.CO;2)
- Aizen, V.B., Kuzmichenok, V.A., Surazakov, A.B., Aizen, E.M., 2007b. Glacier changes in the Tien Shan as determined from topographic and remotely sensed data. *Glob. Planet. Change* 56, 328–340. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.016>
- Aizen, V.B., Kuzmichenok, V.A., Surazakov, A.B., Aizen, E.M., 2006. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data, in: *Annals of Glaciology*. pp. 202–213. <https://doi.org/10.3189/172756406781812465>
- Aralova, D., Kariyeva, J., Khujanazarov, T., Toderich, K., 2018. Drought Variability and Land Degradation in Central Asia: Assessment Using Remote Sensing Data and Drought Indices, in: *Vegetation of Central Asia and Environs*. Springer International Publishing, pp. 15–47. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99728-5_2)
- Awan, U.K., Ibrakhimov, M., Benli, B., Lamers, J.P.A., Liaqat, U.W., 2017. A new concept of irrigation response units for effective management of surface and groundwater resources: a case study from the multi-country Fergana Valley, Central Asia. *Irrig. Sci.* 35, 55–68. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0521-9>
- Awan, U.K., Tischbein, B., Martius, C., 2013. Combining hydrological modeling and GIS approaches to determine the spatial distribution of groundwater recharge in an arid irrigation scheme. *Irrig. Sci.* 31, 793–806. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0362-0>
- Barandun, M., Huss, M., Sold, L., Farinotti, D., Azisov, E., Salzmänn, N., Usabaliev, R., Merkushkin, A., Hoelzle, M., 2015. Re-analysis of seasonal mass balance at Abramov glacier 1968–2014. *J. Glaciol.* 61, 1103–1117. <https://doi.org/10.3189/2015JoG14J239>
- Barandun, M., Huss, M., Usabaliev, R., Azisov, E., Berthier, E., Käab, A., Bolch, T., Hoelzle, M., 2018. Multi-decadal mass balance series of three Kyrgyz glaciers inferred from modeling constrained with repeated snow line observations. *Cryosph.* 12, 1899–1919. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1899-2018>

- Bolch, T., 2015. Glacier area and mass changes since 1964 in the Ala Archa Valley, Kyrgyz Ala-Too, northern Tien Shan. *J. "Ice Snow"* 129, 28–39. <https://doi.org/10.15356/IS.2015.01.03>
- Bolch, T., 2007. Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote sensing data. *Glob. Planet. Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.009>
- Borchardt, P., Oldeland, J., Ponsens, J., Schickhoff, U., 2013. Plant functional traits match grazing gradient and vegetation patterns on mountain pastures in SW Kyrgyzstan. *Phytocoenologia* 43, 171–181. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2013/0043-0542>
- Borchardt, P., Schickhoff, U., Scheitweiler, S., Kulikov, M., 2011. Mountain pastures and grasslands in the SW Tien Shan, Kyrgyzstan - Floristic patterns, environmental gradients, phytogeography, and grazing impact. *J. Mt. Sci.* 8, 363–373. <https://doi.org/10.1007/s11629-011-2121-8>
- Borchardt, P., Schmidt, M., Schickhoff, U., 2010. Vegetation patterns in Kyrgyzstan's walnut-fruit forests under the impact of changing forest use in post-soviet transformation. *Erde* 141, 255–275.
- Braun, L., Hagg, W., 2010. Present and future impact of snow cover and glaciers on runoff from mountain regions. *IHP-HWRP-Berichte* 36–43.
- Chen, Y., Chen, Z., Li, B., Li, Q., 2014. Response of Runoff to Climate Change, in: *Water Resources Research in Northwest China*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 145–191. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8017-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8017-9_4)
- Cleveland, R.B., Cleveland, W.S., McRae, J.E., Terpenning, I., 1990. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *J. Off. Stat.* 6, 3–73. <https://doi.org/citeulike-article-id:1435502>
- Conrad, C., Schönbrodt-Stitt, S., Löw, F., Sorokin, D., Paeth, H., Conrad, C., Schönbrodt-Stitt, S., Löw, F., Sorokin, D., Paeth, H., 2016. Cropping Intensity in the Aral Sea Basin and Its Dependency from the Runoff Formation 2000–2012. *Remote Sens.* 8, 630. <https://doi.org/10.3390/rs8080630>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J., 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.* 8, 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Crewett, W., 2012. Improving the Sustainability of Pasture Use in Kyrgyzstan. *Mt. Res. Dev.* 32, 267–274. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-11-00128.1>
- Darouich, H.M., Pedras, C.M.G., Gonçalves, J.M., Pereira, L.S., 2014. Drip vs. surface irrigation: A comparison focussing on water saving and economic returns using multicriteria analysis applied to cotton. *Biosyst. Eng.* 122, 74–90. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2014.03.010>
- Döll, P., Schmied, H.M., 2012. How is the impact of climate change on river flow regimes related to the impact on mean annual runoff? A global-scale analysis. *Environ. Res. Lett.* 7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/014037>
- Dörre, A., 2015. Promises and realities of community-based pasture management approaches: Observations from Kyrgyzstan. *Pastoralism* 5, 15. <https://doi.org/10.1186/s13570-015-0035-8>

- Dörre, A., Borchardt, P., 2012. Changing Systems, Changing Effects—Pasture Utilization in the Post-Soviet Transition. *Mt. Res. Dev.* 32, 313–323. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-11-00132.1>
- Du, J., Shu, J., Yin, J., Yuan, X., Jiaerheng, A., Xiong, S., He, P., Liu, W., 2015. Analysis on spatio-temporal trends and drivers in vegetation growth during recent decades in Xinjiang, China. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 38, 216–228. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.01.006>
- Dukhovny, V., Kenjabaev, S., Yakubov, S., Umirzakov, G., 2018. Controlled Subsurface Drainage as a Strategy for Improved Water Management in Irrigated Agriculture of Uzbekistan. *Irrig. Drain.* 67, 112–123. <https://doi.org/10.1002/ird.2259>
- Eckert, S., Hüsler, F., Liniger, H., Hodel, E., 2015. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. *J. Arid Environ.* 113, 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.001>
- FAO, 2011. FAOSTAT [WWW Document]. URL <http://faostat3.fao.org/browse/area/113/E> (accessed 4.29.16).
- Farinotti, D., Longuevergne, L., Moholdt, G., Duethmann, D., Mölg, T., Bolch, T., Vorogushyn, S., Güntner, A., 2015. Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. *Nat. Geosci.* 8, 716–722. <https://doi.org/10.1038/ngeo2513>
- Fortes, P.S., Platonov, A.E., Pereira, L.S., 2005. GISAREG—A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. *Agric. Water Manag.* 77, 159–179. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2004.09.042>
- Gan, R., Luo, Y., Zuo, Q., Sun, L., 2015. Effects of projected climate change on the glacier and runoff generation in the Naryn River Basin, Central Asia. *J. Hydrol.* 523, 240–251. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2015.01.057>
- Gardner, A.S., Moholdt, G., Cogley, J.G., Wouters, B., Arendt, A.A., Wahr, J., Berthier, E., Hock, R., Pfeffer, W.T., Kaser, G., Ligtenberg, S.R.M., Bolch, T., Sharp, M.J., Hagen, J.O., Van Den Broeke, M.R., Paul, F., 2013. A reconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009. *Science (80-. )*. 340, 852–857. <https://doi.org/10.1126/science.1234532>
- Gessner, U., Naeimi, V., Klein, I., Kuenzer, C., Klein, D., Dech, S., 2013. The relationship between precipitation anomalies and satellite-derived vegetation activity in Central Asia. *Glob. Planet. Change* 110, 74–87. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.09.007>
- Glazirin, G.E., Braun, L.N., Shchetinnikov, A.S., 2002. Sensitivity of mountain glacierization to climatic changes in Central Asia. *Zeitschrift für Gletscherkd. und Glazialgeol.* 38, 71–76.
- Glazyrin, G.E., 2015. Influences of deglaciation on the river run-off in Central Asia. *Ice Snow* 123, 20. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-3-20-25>
- Goerlich, F., Bolch, T., Mukherjee, K., Pieczonka, T., Goerlich, F., Bolch, T., Mukherjee, K., Pieczonka, T., 2017. Glacier Mass Loss during the 1960s and 1970s in the Ak-Shirak Range (Kyrgyzstan) from Multiple Stereoscopic Corona and Hexagon Imagery. *Remote Sens.* 9, 275. <https://doi.org/10.3390/rs9030275>
- Goibov, M., Schmitz, P.M., Bauer, S., Ahmed, M.N., 2012. Application of a Choice Experiment to Estimate Farmers Preferences for Different Land Use Options in Northern Tajikistan. *J. Sustain. Dev.* 5. <https://doi.org/10.5539/jsd.v5n5p2>

- Gosling, S.N., Taylor, R.G., Arnell, N.W., Todd, M.C., 2011. A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchment-scale hydrological models. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 279–294. <https://doi.org/10.5194/hess-15-279-2011>
- GRDC, 2019. BfG - The GRDC - Global Runoff Database.
- Hagg, W., Braun, L.N., Kuhn, M., Nesgaard, T.I., 2007. Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments. *J. Hydrol.* 332, 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.021>
- Hagg, W., Braun, L.N., Weber, M., Becht, M., 2006. Runoff modelling in glacierized Central Asian catchments for present-day and future climate. *Nord. Hydrol.* 37, 93–105. <https://doi.org/10.2166/nh.2006.001>
- Hagg, W., Hoelzle, M., Wagner, S., Mayr, E., Klose, Z., 2013. Glacier and runoff changes in the Rukhk catchment, upper Amu-Darya basin until 2050. *Glob. Planet. Change* 110, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.05.005>
- Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J.J., Corlett, R.T., Cui, X., Insarov, G.E., Lasco, R.D., Lindgren, E., Surjan, A., 2014. Asia, in: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* pp. 1327–1370.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R., Zhou, G., 2018. Impacts of 1.5°C of Global Warming on Natural and Human Systems, in: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change.*
- Hoelzle, M., Azisov, E., Barandun, M., Huss, M., Farinotti, D., Gafurov, A., Hagg, W., Kenzhebaev, R., Kronenberg, M., Machguth, H., Merkushkin, A., Moldobekov, B., Petrov, M., Saks, T., Salzmann, N., Schöne, T., Tarasov, Y., Usubaliev, R., Vorogushyn, S., Yakovlev, A., Zemp, M., 2017. Re-establishing glacier monitoring in Kyrgyzstan and Uzbekistan, Central Asia. *Geosci. Instrumentation, Methods Data Syst.* 6, 397–418. <https://doi.org/10.5194/gi-6-397-2017>
- Hoppe, F., Schickhoff, U., Oldeland, J., 2017. Plant species diversity of pastures in the Naryn Oblast (Kyrgyzstan). *DIE ERDE – J. Geogr. Soc. Berlin* 149, 214–226.
- Hoppe, F., Zhusui Kyzy, T., Usupbaev, A., Schickhoff, U., 2016a. Rangeland degradation assessment in Kyrgyzstan: vegetation and soils as indicators of grazing pressure in Naryn Oblast. *J. Mt. Sci.* 13, 1567–1583. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-3915-5>
- Hoppe, F., Zhusui Kyzy, T., Usupbaev, A., Schickhoff, U., 2016b. Contrasting grazing impact on seasonal pastures reflected by plant functional traits: Search for patterns in Kyrgyz rangelands. *GEOÖKO* 37.
- Horst, M.G., Shamutalov, S.S., Pereira, L.S., Gonçalves, J.M., 2005. Field assessment of the water saving potential with furrow irrigation in Fergana, Aral Sea basin. *Agric. Water Manag.* 77, 210–231. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2004.09.041>

- Ibrakhimov, M., Awan, U.K., George, B., Liaqat, U.W., 2018. Understanding surface water–groundwater interactions for managing large irrigation schemes in the multi-country Fergana valley, Central Asia. *Agric. Water Manag.* 201, 99–106. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2018.01.016>
- Immerzeel, W.W., van Beek, L.P.H., Bierkens, M.F.P., 2010. Climate Change Will Affect the Asian Water Towers. *Science* (80-. ). 328, 1382–1385. <https://doi.org/10.1126/science.1183188>
- IPCC WGII, 2014. IPCC’s Fifth Assessment Report (WGII AR5), in: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.003>
- Isaeva, A., Shigaeva, J., 2017. Soviet Legacy in the Operation of Pasture Governance Institutions in Present-Day Kyrgyzstan. *Rev. géographie Alp.* <https://doi.org/10.4000/rga.3631>
- IUSS Working Group WRB, 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports No. 106. <https://doi.org/10.1017/S0014479706394902>
- Kaser, G., Großhauser, M., Marzeion, B., 2010. Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107, 20223–20227. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008162107>
- Kenzhebaev, R., Barandun, M., Kronenberg, M., Chen, Y., Usabaliev, R., Hoelzle, M., 2017. Mass balance observations and reconstruction for Batysh Sook Glacier, Tien Shan, from 2004 to 2016. *Cold Reg. Sci. Technol.* 135, 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.12.007>
- Khromova, T., Nosenko, G., Kutuzov, S., Muraviev, A., Chernova, L., 2014. Glacier area changes in Northern Eurasia. *Environ. Res. Lett.* 9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/1/015003>
- Khromova, T.E., Osipova, G.B., Tsvetkov, D.G., Dyurgerov, M.B., Barry, R.G., 2006. Changes in glacier extent in the eastern Pamir, Central Asia, determined from historical data and ASTER imagery. *Remote Sens. Environ.* 102, 24–32. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2006.01.019>
- Klein, I., Gessner, U., Kuenzer, C., 2012. Regional land cover mapping and change detection in Central Asia using MODIS time-series. *Appl. Geogr.* 35, 219–234. <https://doi.org/10.1016/J.Apgeog.2012.06.016>
- Kogutenko, L., Severskiy, I., Shahgedanova, M., Lin, B., 2019. Change in the Extent of Glaciers and Glacier Runoff in the Chinese Sector of the Ile River Basin between 1962 and 2012. *Water* 11, 1668. <https://doi.org/10.3390/w11081668>
- Konovalov, V.G., 1985. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Средней Азии [Melting and runoff from the glaciers in basins of Central Asian rivers] (in Russian). Leningrad, Gidrometeoizdat.
- Konovalov, V.G., Shchetinnicov, A.S., 1994. Evolution of glaciation in the Pamiro-Alai mountains and its effect on river run-off. *J. Glaciol.* 40, 149–157. <https://doi.org/10.3189/S0022143000003920>
- Kronenberg, M., Barandun, M., Hoelzle, M., Huss, M., Farinotti, D., Azisov, E., Usabaliev, R., Gafurov, A., Petrakov, D., Käab, A., 2016. Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014. *Ann. Glaciol.* 57, 92–102. <https://doi.org/10.3189/2016aog71a032>

- Kulikov, M., Schickhoff, U., 2017. Vegetation and climate interaction patterns in Kyrgyzstan: spatial discretization based on time series analysis. *Erdkunde* 71, 143–165. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2017.02.04>
- Kulikov, M., Schickhoff, U., Borchardt, P., 2016. Spatial and seasonal dynamics of soil loss ratio in mountain rangelands of south-western Kyrgyzstan. *J. Mt. Sci.* 13, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11629-1>
- Kulikov, M., Schickhoff, U., Gröngröft, A., Borchardt, P., 2017. Modelling Soil Erodibility in Mountain Rangelands of South-Western Kyrgyzstan. *Pedosphere*. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60402-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60402-8)
- Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., DÖLL, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., ŞEN, Z., Shiklomanov, I., 2008. The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrol. Sci. J.* 53, 3–10. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3>
- Kure, S., Jang, S., Ohara, N., Kavvas, M.L., Chen, Z.Q., 2013. Hydrologic impact of regional climate change for the snow-fed and glacier-fed river basins in the republic of Tajikistan: Statistical downscaling of global climate model projections. *Hydrol. Process.* 27, 4071–4090. <https://doi.org/10.1002/hyp.9536>
- Lazkov, G.A., Sultanova, B.A., 2011. Checklist of vascular plants of Kyrgyzstan. Botanical Museum, Finnish Museum of Natural History, University of Helsinki, Bishkek.
- Lerman, Z., 2012. Rural Livelihoods in Tajikistan: What Factors and Policies Influence the Income and Well-Being of Rural Families?, in: *Rangeland Stewardship in Central Asia*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 165–187. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5367-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5367-9_8)
- Levine, J., Isaeva, A., Eddy, I., Foggin, M., Gergel, S., Hagerman, S., Zerriffi, H., 2017. A cognitive approach to the post-Soviet Central Asian pasture puzzle: new data from Kyrgyzstan. *Reg. Environ. Chang.* 17, 941–947. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1122-8>
- Levine, J., Isaeva, A., Zerriffi, H., Eddy, I.M.S., Foggin, M., Gergel, S.E., Hagerman, S.M., 2019. Testing for consensus on Kyrgyz rangelands: local perceptions in Naryn oblast. *Ecol. Soc.* 24, art36. <https://doi.org/10.5751/ES-11222-240436>
- Li, X., Shi, H., Šimůnek, J., Gong, X., Peng, Z., 2015. Modeling soil water dynamics in a drip-irrigated intercropping field under plastic mulch. *Irrig. Sci.* 33, 289–302. <https://doi.org/10.1007/s00271-015-0466-4>
- Li, Z., Wang, P., Sun, M., 2014. Glacier Change and Its Impact on Water Resources, in: *Water Resources Research in Northwest China*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 193–246. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8017-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8017-9_5)
- Liu, Z., Xu, Z., 2014. Climate Change Scenarios and the Impact on Runoff, in: Chen, Y. (Ed.), *Water Resources Research in Northwest China*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 311–357. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8017-9>
- Löw, F., Biradar, C., Fliemann, E., Lamers, J.P.A., Conrad, C., 2017a. Assessing gaps in irrigated agricultural productivity through satellite earth observations—A case study of the Fergana Valley, Central Asia. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 59, 118–134. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2017.02.014>

- Löw, F., Biradar, C., Fliemann, E., Lamers, J.P.A., Conrad, C., 2017b. Assessing gaps in irrigated agricultural productivity through satellite earth observations—A case study of the Fergana Valley, Central Asia. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 59, 118–134. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2017.02.014>
- Mamytov, A.M., Ashirakhmanov, S.A., 1988. Soils (in Russian), Natural Resources of Kyrgyz SSR. Tashkentskaya Kartograficheskaya Fabrika, Tashkent.
- Mckinney, W., Pydata Development Team, 2019. pandas: powerful Python data analysis toolkit, Python package.
- Mohammad, A., Wang, X., Xu, X., Peng, L., Yang, Y., Zhang, X., Myneni, R.B., Piao, S., 2013. Drought and spring cooling induced recent decrease in vegetation growth in Inner Asia. *Agric. For. Meteorol.* 178–179, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.014>
- Narama, C., Shimamura, Y., Nakayama, D., Abdrakhmatov, K., 2006. Recent changes of glacier coverage in the western Terskey-Alatoo range, Kyrgyz Republic, using Corona and Landsat, in: *Annals of Glaciology*. pp. 223–229. <https://doi.org/10.3189/172756406781812195>
- NatStatCom, 2019a. Кыргызстан. Краткий статистический справочник [Kyrgyzstan. Brief Statistical Handbook] (in Russian). Bishkek.
- NatStatCom, 2019b. Сельское хозяйство Кыргызской Республики [Agriculture of Kyrgyz Republic] (in Russian). Bishkek.
- NatStatCom, 2018a. Kyrgyzstan. Brief Statistical Handbook. Bishkek.
- NatStatCom, 2018b. О сборе урожая сельскохозяйственных культур в 2018 г. [About agricultural yield in 2018] (in Russian). Bishkek.
- Niederer, P., Bilenko, V., Ershova, N., Hurni, H., Yerokhin, S., Maselli, D., 2008. Tracing glacier wastage in the Northern Tien Shan (Kyrgyzstan/Central Asia) over the last 40 years. *Clim. Change* 86, 227–234. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9288-6>
- Oberhänsli, H., Novotná, K., Píšková, A., Chabrilat, S., Nourgaliev, D.K., Kurbaniyazov, A.K., Matys Grygar, T., 2011. Variability in precipitation, temperature and river runoff in W Central Asia during the past ~2000yrs. *Glob. Planet. Change* 76, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.12.008>
- Osmonov, A., Bolch, T., Xi, C., Kurban, A., Guo, W., 2013. Glacier characteristics and changes in the Sary-Jaz River Basin (Central Tien Shan, Kyrgyzstan) – 1990–2010. *Remote Sens. Lett.* 4, 725–734. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2013.789146>
- Pak, M., Wegerich, K., Kazbekov, J., 2014. Re-examining conflict and cooperation in Central Asia: a case study from the Isfara River, Ferghana Valley. *Int. J. Water Resour. Dev.* 30, 230–245. <https://doi.org/10.1080/07900627.2013.837357>
- Pieczonka, T., Bolch, T., 2015. Region-wide glacier mass budgets and area changes for the Central Tien Shan between ~1975 and 1999 using Hexagon KH-9 imagery. *Glob. Planet. Change* 128, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.11.014>
- Propastin, P.A., Kappas, M., Erasmi, S., Muratova, N.R., 2007. Remote sensing based study on intra-annual dynamics of vegetation and climate in drylands of Kazakhstan. *Basic Appl. Dryland Res.* 1, 138–154. <https://doi.org/10.1127/badr/1/2007/138>

- Propastin, P.A., Kappas, M., Muratova, N.R., 2008a. Inter-annual changes in vegetation activities and their relationship to temperature and precipitation in Central Asia from 1982 to 2003. *J. Environ. Informatics* 12, 75–87. <https://doi.org/10.3808/jei.200800126>
- Propastin, P.A., Kappas, M., Muratova, N.R., 2008b. A remote sensing based monitoring system for discrimination between climate and human-induced vegetation change in Central Asia. *Manag. Environ. Qual. An Int. J.* 19, 579–596. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/14777830810894256>
- Python Software Foundation, 2016. Python Language Reference, version 3.5. Python Softw. Found.
- R Core Team, 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Found. Stat. Comput. Vienna, Austria.
- Ramesh, A., Conrad, C., Mannig, B., Schrader, F., 2013. Hydro-Meteorological Hazards Assessment Based Upon Climate Change Considerations in Isfara Basin. EGU Gen. Assem. 2013, held 7-12 April. 2013 Vienna, Austria, p.13472 15, 13472.
- Rasmussen, L.A., 2013. Meteorological controls on glacier mass balance in High Asia. *Ann. Glaciol.* 54, 352–359. <https://doi.org/10.3189/2013AoG63A353>
- Reddy, J.M., Jumaboev, K., Matyakubov, B., Eshmuratov, D., 2013. Evaluation of furrow irrigation practices in Fergana Valley of Uzbekistan. *Agric. Water Manag.* 117, 133–144. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2012.11.004>
- Ripley, B.D., 2013. Seasonal Decomposition of Time Series by Loess.
- Schaner, N., Voisin, N., Nijssen, B., Lettenmaier, D.P., 2012. The contribution of glacier melt to streamflow. *Environ. Res. Lett.* <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034029>
- Shigaeva, J., Dzhakypbekova, K., Nurdoolot Kyzy, C., Darr, D., Wolff, H.-P., 2018. Profitability of forest products of walnut-fruit forest of Kyrgyzstan vs agricultural production, case study from Kyzyl Unkur villages, in: World Mountain Forum. Bishkek.
- Shigaeva, J., Hagerman, S., Zerriffi, H., Hergarten, C., Isaeva, A., Mamadalieva, Z., Foggin, M., 2016. Decentralizing Governance of Agropastoral Systems in Kyrgyzstan: An Assessment of Recent Pasture Reforms. *Mt. Res. Dev.* 36, 91–101. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-15-00023.1>
- Shigaeva, J., Kollmair, M., Niederer, P., Maselli, D., 2007. Livelihoods in transition: changing land use strategies and ecological implications in a post-Soviet setting (Kyrgyzstan). *Centr. Asian Surv.* 26, 389–406. <https://doi.org/10.1080/02634930701702696>
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J.M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., Portmann, F.T., 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 1863–1880. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010>
- Siegfried, T., Bernauer, T., Guiennet, R., Sellars, S., Robertson, A.W., Mankin, J., Bauer-Gottwein, P., Yakovlev, A., 2012. Will climate change exacerbate water stress in Central Asia? *Clim. Change* 112, 881–899. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0253-z>
- Soliev, I., Theesfeld, I., Wegerich, K., Platonov, A., 2017. Dealing with “Baggage” in Riparian Relationship on Water Allocation: A Longitudinal Comparative Study from the Ferghana Valley. *Ecol. Econ.* 142, 148–162. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2017.05.002>

- Solomina, O., Barry, R., Bodnya, M., 2004. The retreat of Tien Shan glaciers (Kyrgyzstan) since the little ice age estimated from aerial photographs, lichenometric and historical data. *Geogr. Ann. Ser. A, Phys. Geogr.* 86, 205–215. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2004.00225.x>
- Sorg, A., Bolch, T., Stoffel, M., Solomina, O., Beniston, M., 2012. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nat. Clim. Chang.* 2, 725–731. <https://doi.org/10.1038/nclimate1592>
- TajStat, 2015. Tajikistan in Figures. Dushanbe.
- Todd Jarvis, W., 2013. Groundwater Around the World: A Geographic Synopsis. *Groundwater*. <https://doi.org/10.1111/gwat.12072>
- Vykhodtsev, I.V., 1966. Geobotanical research in Kirgizia (in Russian). Ilim, Frunze.
- Vykhodtsev, I.V., 1956. Vertical zonation of vegetation in Kirgizia (in Russian). Akademia nauk SSSR, Moscow.
- Wang, P., Li, Z., Gao, W., 2011. Rapid shrinking of glaciers in the Middle Qilian Mountain region of Northwest China during the last ~50 years. *J. Earth Sci.* 22, 539–548. <https://doi.org/10.1007/s12583-011-0195-4>
- Williams, M.W., Konovalov, V.G., 2018. Central Asia Temperature and Precipitation Data, 1879–2003. <https://doi.org/10.7265/N5NK3BZ8>
- Xenarios, S., Gafurov, A., Schmidt-Vogt, D., Sehring, J., Manandhar, S., Hergarten, C., Shigaeva, J., Foggin, M., 2018. Climate change and adaptation of mountain societies in Central Asia: uncertainties, knowledge gaps, and data constraints. *Reg. Environ. Chang.* 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1384-9>
- Xu, C., Li, Z., Wang, P., Anjum, M.N., Li, H., Wang, F., 2018. Detailed comparison of glaciological and geodetic mass balances for Urumqi Glacier No.1, eastern Tien Shan, China, from 1981 to 2015. *Cold Reg. Sci. Technol.* 155, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.08.006>
- Xu, Z., Liu, Z., 2014. Climate Change Scenarios and the Impact on Runoff, in: *Water Resources Research in Northwest China*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 311–357. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8017-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8017-9_9)
- Zhao, X., Tan, K., Zhao, S., Fang, J., 2011. Changing climate affects vegetation growth in the arid region of the northwestern China. *J. Arid Environ.* 75, 946–952. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.05.007>
- Zhumanova, M., Mönnig, C., Hergarten, C., Darr, D., Wrage-Mönnig, N., 2018. Assessment of vegetation degradation in mountainous pastures of the Western Tien-Shan, Kyrgyzstan, using eMODIS NDVI. *Ecol. Indic.* 95, 527–543. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.07.060>
- Zhumanova, M., Wrage-Mönnig, N., Darr, D., 2016. Farmers' Decision-making and Land Use Changes in Kyrgyz Agropastoral Systems. *Mt. Res. Dev.* 36, 506–517. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00030.1>
- Zuo, D., Xu, Z., Zhao, J., Abbaspour, K.C., Yang, H., 2015. Response of runoff to climate change in the Wei River basin, China. *Hydrol. Sci. J.* 60, 508–522. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.943668>

## ПРИЛОЖЕНИЕ I. АНКЕТА ВОСПРИЯТИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА.

Уважаемый респондент, согласно мнению учёных, в последние годы наблюдается изменение климата, которое выражается в изменении температуры воздуха и количестве осадков. Ожидается, что эти изменения могут сказаться на жизни людей. В связи с этим мы бы хотели узнать о ваших наблюдениях по этому поводу.

**Слышали ли вы об изменении климата:** да, нет. **Если да: где вы о нём слышали:** ТВ, радио, газеты, соседи, др.

<p><b>1) Что такое изменение климата (можете выбрать несколько вариантов):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Погода будет жарче</li> <li>2. Погода будет холоднее</li> <li>3. Будет меньше дождя</li> <li>4. Будет больше дождя</li> <li>5. Будут оползни и землетрясения</li> <li>6. Будет солнечное затмение</li> <li>7. Будет грязный воздух</li> <li>8. Будет меньше воды в реках</li> <li>9. Будет больше воды в реках</li> <li>10. Свой ответ _____</li> </ol>	<p><b>2) Как изменение климата скажется на жизни: (неск.):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Будет меньше урожая</li> <li>2. Будет больше урожая</li> <li>3. Скот будет болеть</li> <li>4. Деревья будут болеть</li> <li>5. Деревьям будет лучше</li> <li>6. Будет больше травы</li> <li>7. Будет меньше травы</li> <li>8. Цены вырастут</li> <li>9. Цены упадут</li> <li>10. Люди будут болеть</li> <li>11. Люди будут лучше себя чувствовать</li> <li>12. Диких животных станет больше</li> <li>13. Диких животных станет меньше</li> <li>14. Никак не скажется</li> <li>15. Свой ответ _____</li> </ol>
<p><b>3) В чем причина изменения климата (неск. вар.):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сам меняется</li> <li>2. Неизвестно</li> <li>3. Люди загрязняют воздух</li> <li>4. Люди загрязняют воду</li> <li>5. Стало слишком много людей</li> <li>6. Солнце слишком сильно светит</li> <li>7. Солнце мало светит</li> <li>8. Стало слишком много скота</li> <li>9. Люди много потребляют</li> <li>10. Воду забирают на полив</li> <li>11. Свой ответ _____</li> </ol>	<p><b>4) Что нужно сделать чтобы климат не менялся (несколько вариантов):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ничего не нужно делать</li> <li>2. Нужно убрать заводы</li> <li>3. Сократить количество машин</li> <li>4. Сократить количество скота</li> <li>5. Увеличить количество скота</li> <li>6. Давать кредиты фермерам</li> <li>7. Перестать забирать воду на полив</li> <li>8. Сажать больше деревьев</li> <li>9. Надо убрать все деревья</li> <li>10. Свой ответ _____</li> </ol>
<p><b>5) Как изменилась погода в вашем районе за последние годы (несколько вариантов):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стало жарче</li> <li>2. Стало холоднее</li> <li>3. Температура не изменилась</li> <li>4. Стало больше дождей</li> <li>5. Стало меньше дождей</li> <li>6. Количество дождей не изменилось</li> <li>7. Стало больше снега</li> <li>8. Стало меньше снега</li> <li>9. Количество снега не изменилось</li> <li>10. Свой ответ _____</li> </ol>	<p><b>6) Как изменилась природа в вашем районе за последние годы (несколько вариантов):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стало больше травы</li> <li>2. Стало меньше травы</li> <li>3. Стало больше урожая</li> <li>4. Стало меньше урожая</li> <li>5. Деревья стали больше болеть</li> <li>6. Деревья стали меньше болеть</li> <li>7. Животные меньше болеют</li> <li>8. Животные больше болеют</li> <li>9. Стало меньше воды в арыках</li> <li>10. Стало больше воды в арыках</li> <li>11. Свой ответ _____</li> </ol>

7) Какова причина изменения погоды?	8) Какова причина изменения природы?		
<b>Зачеркните тот вариант, который вам кажется правильным:</b>			
<b>За последние годы:</b>			
<b>Лето стало:</b>	жарче	не изменилось	холоднее
<b>Зима стала:</b>	теплее	не изменилась	холоднее
<b>Весна стала:</b>	теплее	не изменилась	холоднее
<b>Осень стала:</b>	теплее	не изменилась	холоднее
<b>Снега зимой стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
<b>Дождей весной стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
<b>Дождей летом стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
<b>Дождей осенью стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
<b>Домашнего скота в селе стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
Почему:			
<b>Диких животных в горах стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
Почему:			
<b>Деревьев в округе стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
Почему:			
<b>Плодовые деревья болеют:</b>	больше	как обычно	меньше
Почему:			
<b>Травы на пастбищах стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
Почему:			
<b>Сельскохозяйственные культуры растут:</b>	лучше	как обычно	хуже
Почему:			
<b>Людей в селе стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
Почему:			
<b>Воды в реке стало:</b>	больше	не изменилось	меньше
Почему:			
<b>Доходы населения:</b>	выросли	не изменились	сократились
Почему:			
<b>Как вы думаете, жизнь в будущем будет:</b>	лучше	не изменится	хуже
Почему:			
<b>Какие источники дохода в селе самые важные? Поставьте сверху цифры по порядку, где 1 – самый важный.</b>			
скотоводство, садоводство, полеводство, торговля, госслужба, денежные переводы, др.:			
<b>Какие средства информации в селе самые важные? Поставьте сверху цифры по порядку, 1 – самый важный.</b>			
телевидение, радио, газеты, соседи, органы власти, др.:			

Имя респондента \_\_\_\_\_ Село проживания \_\_\_\_\_

Пол \_\_\_\_\_ Возраст \_\_\_\_\_ Семейное положение \_\_\_\_\_ Количество человек в доме \_\_\_\_\_

Образование: неоконченное среднее, среднее, средне-специальное, высшее. Кем работаете: \_\_\_\_\_

Основной источник дохода: скотоводство, садоводство, полеводство, торговля, госслужба, денежные переводы, др. \_\_\_\_\_



