



Оценка проявления гидрологических процессов (паводки, половодья, боковая эрозия и селевые явления) в бассейне реки Кара-Ункюр (Кыргызстан)

Молдобеков Б.Д.

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ)
(b.moldobekov@caiag.kg)

Абдыбачаев У.А.

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ)

Калашникова О.Ю.

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ)

МРНТИ 30.17.02

Аннотация

Практически во всех речных бассейнах стран Центральной Азии, с наступлением весны, увеличивается вероятность проявления природных катаклизмов, такие как паводки, половодья, наводнения и связанная с ними боковая эрозия. Особенно эти явления часто проявляются в бассейнах крупных рек Ферганской долины, Кыргызского хребта и Заилийского Алатау. Целью исследований являлось выявление уязвимых участков подверженных эрозионными процессами при прохождении катастрофических паводков и половодья, для принятия превентивных мер по защите населенных пунктов, их территорий и инфраструктуры. Для выявления уязвимых участков, подверженных эрозионным процессам в бассейне реки Кара-Ункюр, был выполнен комплекс полевых методов наземного наблюдения с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). По результатам полученных данных проведен анализ, оценка и степень проявления экзогенных геологических процессов. Выработаны рекомендации и переданы в государственные органы (МЧС КР) для принятия решений.

Ключевые слова: катастрофические паводки, эрозионные процессы, река Кара-Ункюр, дистанционное зондирование Земли, гидрологические процессы.

1. Введение

Возникновение и формирование опасных гидрологических явлений, таких как паводки, половодья и боковая эрозия определяется совокупностью природных условий и суммой факторов развития. Современная активность развития этих явлений в бассейне реки Кара-Ункюр малоизучена, но так или иначе, она наносит ущерб населению и объектам экономики Кыргызской Республики. Так, в 1988 г. были зафиксированы и отражены в отчете «Киргизгипрозема» следующие происшествия: в апреле 1987 года в Базар-Коргонском районе селевые потоки разрушили дорогу на 17, 19, 23, 25 километрах а/д Советское (Базар-Коргон) – Арсланбоб, был снесен мост через реку Кара-Ункюр - Сай построенный на автодороге Фрунзе-Ош. По данным МЧС, во второй декаде апреля 2017, повысился уровень воды в реке Кара-Ункюр в Ноокенском районе. Из-за разлива

реки размыло дамбу, построенную еще в 1970-1980 годах, также была размыта береговая линия протяженностью 300 метров, вследствие чего началось затопление сельскохозяйственных угодий в сельском округе Сакалды, и возникла угроза подтопления жилых домов. Было эвакуировано более 800 семей. Приведенные примеры свидетельствуют о том, что изучение развития опасных явлений в бассейне реки остается актуальным и на сегодняшний день, когда количественные характеристики затоплений речных долин изменяются в условиях нестабильности климата и состояния защитных мероприятий.

За последние два десятилетия в исследуемом бассейне работы по оценке проявления опасных гидрологических процессов не проводились, отсутствует единая геобазы данных об опасных процессах, позволяющая сбор, систематизацию, хранение, и обновление информации об ущербах, и их визуализацию, посредством соответствующих программных приложений с поддержкой геоинформационных систем включая данные ДЗ. Основной целью исследований являлось выявление уязвимых участков, подверженных эрозионным процессам при прохождении катастрофических паводков и половодья, при этом основной задачей исполнителей было провести пространственно-временной анализ данных ДЗ и сопоставить с результатами полевых исследований. Все работы, связанные с обработкой оптических данных Landsat, проводились с помощью программного приложения ArcGIS, с использованием дополнительного модуля Spatial Analyst, предназначенного для анализа растровых данных.



Рисунок 1. Последствия прохождения паводков на р. Кара-Ункюр-Сай, 5 июня 2010 года.

2. Район исследований

Кыргызская Республика (КР) – горная страна со сложным рельефом, которая представляет собой систему расчлененную горными хребтами простирающимися в субширотном направлении с востока на запад, между которыми расположены межгорные впадины, различные по размерам и высоте [1, 2]. Климатические условия

республики в целом определяются географическим положением в средних широтах, сложностью высокогорного рельефа и характерной чертой являются: континентальность, сухость воздуха, малая облачность и высокая солнечная радиация. Все элементы климата изменяются как в широтном, так и в вертикальном (по высотным зонам) направлениях [1, 3, 4]. Сели и паводки, связанные с ними затопления и береговая эрозия вызывают 29,65 % всех регистрируемых чрезвычайных ситуаций. При этом наибольшее количество их отмечается в Джалал-Абадской (35,5 %), Ошской (22,4 %), Баткенской (21,5 %) областях. В Таласской, Чуйской, Иссык-Кульской, Нарынской областях они составляют от 6,4 % до 4 % [16].

Исследуемый бассейн реки Кара-Ункюр (выделен на рисунке 1), занимает общую площадь водосбора 1300 км², географически расположен в южной части КР и входит в Базар-Коргонский район, Джалал-Абадской области. Эта река формирует свой сток на северо-западной оконечности Ферганского хребта. От истоков до с. Базар-Коргон она носит название Кара-Ункюр, а ниже – Тентек-Сай. Около с. Базар-Коргон русло реки обычно сухое вследствие разбора воды на орошение.

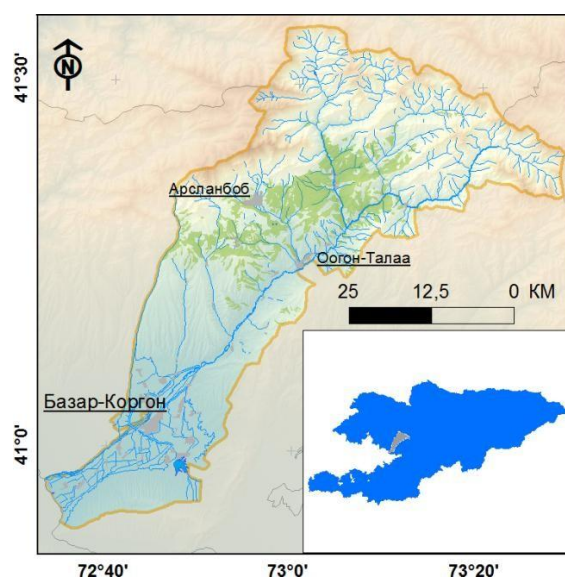


Рисунок 2. Исследуемый водный бассейн р. Кара-Ункюр, на вставке - выделен серым цветом.

Природные условия бассейна - наличие довольно сглаженных форм рельефа, густое покрытие площади района орехово-плодовыми лесами и зарослями кустарника, которые создают условия для подавления широкого распространения селевых очагов в районе. Однако основной водоток Кара-Ункюр является селеопасным. Здесь селевые очаги находятся как по левому, так и по правому склону. В районе села Базар-Коргон по широкой пойме (300-400 м) проходят мощные паводки.

3. Методология и исходные данные

3.1 Методология

Методологии обследования и описания селевых очагов в полевых работах авторы данной публикации придерживались тех специфических условий и правил, которые достаточно хорошо описаны в работах Ломтадзе В. Д. (1976), Бондарик Г. К. (1986), Перов В. Ф. (2012), а также в работах других исследователей [6, 7, 8, 9, 10, 11].

В настоящее время вопросам использования материалов, получаемых со спутников, при геологических, инженерно-геологических и др. исследованиях, посвящена значительная литература, опубликованная в различных известных журналах. Обработка спутниковых оптических изображений и извлечение соответствующей информации была проведена в соответствии с рекомендуемыми базовыми и специализированными шагами и инструментами в области ГИС по обработке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и цифровой модели рельефа (ЦМР) [12, 13, 14, 15, 16].

Анализ влияния климатических факторов (накопления снеготазов в зимний период и осадков) на половодье и селевые паводки проводился на основе статистических методов в соответствии с руководством по составлению гидропрогнозов, а также имеющегося опыта использования наземной и спутниковой информации в других бассейнах рек Кыргызской Республики [17, 18, 19].

Обработка информации о снежном покрове использовалась в ГИС, дешифрирование снежного покрова и удаление облачного покрова со снимков MODIS производилось в программе MODSNOW-Tool [20].

3.2 Исходные данные

Исходные данные в этом исследовании указаны в таблице 1. Использование тематических карт мелкого масштаба обуславливается наличием свободного доступа к ним.

Таблица 1. Исходные данные

№	Наименование данных	Источник
1	Данные дистанционного зондирования	Landsat, с оптическим разрешением 15-30 м/пикс. Сцена съемки: 1994/06/20, 1998/05/30, 2001/07/17, 2002/05/26, 2010/06/16, 2013/06/08, 2014/06/11, 2017/04/25, RapidEye с оптическим разрешением 6 м. Сцена съемки 2014/Август ASTER (DEM) (30 м)
2	Топографическая карта	Масштаб 1:100 000
3	Геологическая карта	Масштаб 1:500 000
4	Геоморфологическая карта	Масштаб 1:500 000

5	Инженерно-Геологическая карта	Масштаб 1:500 000
6	Карта поверхностных вод	Масштаб 1:500 000
7	Карта подземных вод	Масштаб 1:500 000
8	Карты уклонов, экспозиции склонов и направление стока	С использованием инструментов Spatial Analyst были извлечены значения уклонов и экспозиции склонов из ЦМР (30 м) и карты построены в приложении ArcGIS 10.1
9	Данные полевых обследований	Полученные с использованием GPS приемников
10	Данные о снежном покрове спутниковых снимков	MODIS, пространственное разрешение для снежного покрова 500 м. За период 2000-2015 гг.
11	Карта бассейна (водосбора) реки	С использованием инструментов ArcGIS Hydrology Tool была извлечена территория бассейна реки Кара-Ункюр из ASTER (DEM).
12	Данные о расходах воды и об осадках в бассейне реки	Данные Кыргызгидромета гидропоста р.Кара-Ункюр (р.Тентек-Сай) – с.Чарбак, МС Ак-Терек.

4. Обсуждение результатов

Основной причиной возникновения селевых явлений и паводков в предгорной зоне бассейна р. Кара-Ункюр (Базар-Коргонский район) являются дожди ливневого характера. При холодных вторжениях селеформирующими оказываются дожди в 20 мм за сутки, а для разрушительных селей 30 мм за сутки и более. На интенсивность селевых явлений влияет также накопление осадков за холодный период (октябрь-март) и предшествующая увлажненность, за 2-3 суток. В редких случаях, при сильных ливнях, сели образуются в первый день.

В марте-мае холодные вторжения и образование высотных циклонов часто вызывают резкие понижения температуры воздуха, при этом критической температурой, при которой могут возникать сели, является температура до высот 1800 м $+4^{\circ}\text{C}$, до высот 2200 м $+2^{\circ}\text{C}$. В апреле-мае сели могут формироваться при всех типах осадкообразующих синоптических процессов, но наибольшая их вероятность при волновой деятельности, северо-западных вторжениях и высотном циклогенезе, особенно в мае, когда могут образоваться особо опасные сели. В июне-августе сели возникают в основном при высотном циклогенезе и северных вторжениях [21, 22, 23]. Следует также отметить, что при высотном циклогенезе распределение осадков по территории крайне неравномерное и не всегда метеостанции, находящиеся на рассматриваемой территории фиксируют выпавшие сильные осадки особенно в июне-июле.

За последние 12 лет отмечено 25 случаев с продолжительными осадками 60-122,3 мм за двое суток. Продолжительные осадки отмечаются, как правило, 1 раз в году и проходят обычно в апреле или мае. Исключение – 1998 год, когда было 3 случая выпадения сильных осадков в мае. Кроме того, по 2 случая приходится еще на апрель и май 1994, 1996 и 2005 гг. и на апрель и июль 2002, апрель и июнь 2014 годов (рисунок 2). В большинстве случаев при выпадении продолжительных дождей отмечались селевые и паводковые явления (рисунок 3).

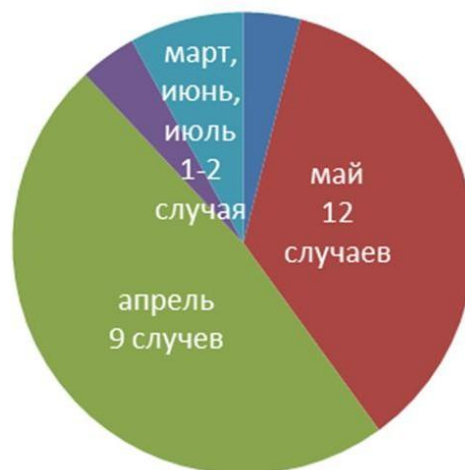


Рисунок 3. Число случаев с продолжительными осадками по данным метеостанции Ак Терек за период с 1992 по 2014 гг.

Оценка площади снежного покрова в период интенсивного снеготаяния выступает как косвенный индикатор, влияющий на объем поверхностного стока массы вовлеченного материала. На основе обработанных спутниковых изображений MODIS, были составлены карты снежного покрова для бассейна реки за период 2000-2014 гг.

Формирование снежного покрова исследуемого бассейна отличается большим разнообразием за рассматриваемый период. За средние даты при построении карт заснеженности территории, во внимание приняты даты схода снежного покрова по результатам многолетних наблюдений метеорологической станции Ак-Терек (3 апреля). Карты разрушения снежного покрова построены – на 31 марта.

Среднее значение площади снежного покрова бассейна реки Кара-Ункюр на 31 марта – 46 % от общей площади бассейна. В 2003, 2004, 2011 и 2014 годах площадь снежного покрова составляла от 50 % и до 58 %, в 2001 и 2013 гг. – минимальные значения 26-30 % от общей площади бассейна. В марте 2012 г. наблюдались максимальные значения площади снежного покрова 69 %.

Максимальные расходы воды на реке Кара-Ункюр (Тентек - Сай), указаны в таблице 2, проходят обычно в апреле-мае. В связи с нерабочим состоянием гидрологического поста в период 2004 по 2009 год наблюдения за расходами воды не проводились.

Данные за вегетационный период 2004 года были восстановлены, данные за 2005-2009 гг., к сожалению, восстановлению не подлежат.

В таблице 2 представлены данные о площади снежного покрова по данным спутниковых снимков MODIS, число случаев с сильными осадками, число случаев с селями в Джалал-Абадской области, расходы воды на реке Кара-Ункюр за период половодья (апрель-сентябрь), максимальные расходы воды и даты их прохождения. В годы с наименьшим числом селевых явлений и маловодьем на реке Кара-Ункюр (например, 2001) прослеживается как недобор снегозапасов к началу половодья, так и наименьшее число сильных осадков, и, наоборот, в годы со значительными снегозапасами и числом дней с сильными осадками наблюдается наибольшее количество селевых паводков и многоводье на реке Кара-Ункюр.

Таблица 2. Расходы воды на реке Кара-Ункюр

Годы	Площадь снежного покрова на 31 марта / количество случаев с сильными осадками	Число случаев селевых паводков*	Расходы воды на реке Кара-Ункюр		Дата прохождения максимального расхода воды
			Средне вегетационный м ³ /с	Максимальный м ³ /с	
2000	43 / 9	16	38,4	98,5	12.05
2001	30 / 4	2	20,9	41,5	20-21.05
2002	45 / 11	47	55,5	116	28.05
2003	56 / 16	23	54,4	141	26-28.04
2004	58 / 11	8	55,4	-	-
2005	42 / 13	10	-	-	-
2006	46 / 9	5	-	-	-
2007	49 / 8	17	-	-	-
2008	41 / 11	21	-	-	-
2009	38 / 10	32	-	-	-
2010	47 / 14	47	63,1	149	23.05
2011	54 / 9	27	-	-	-
2012	69 / 14	75	-	-	-
2013	30 / 9	29	-	-	-
2014	26 / 7	12	-	-	-
2015	51 / нет данных	16	-	-	-
среднее	46 / 9	24			

* - данные МЧС КР

Прогноз максимальных и средне-вегетационных расходов воды составляется как на основе анализа накопления осадков за период октябрь-март, октябрь-апрель (по данным метеостанции Ак Терек), так и на основе данных спутниковых изображений о снежном покрове, по разработанной методике ЦАИИЗ. Коэффициент корреляции (R^2) средневегетационного расхода воды и максимальных расходов воды на реке Кара-Ункюр с площадью снежного покрова по данным MODIS составляет 0,66 и 0,86, соответственно. Используя мультиспектральные спутниковые изображения Landsat и Rapid Eye, проведен ретроспективный анализ местности. Так для сцен Landsat был

применен в композиции RGB с различными комбинациями каналов. Для дешифрирования объектов подверженных селевым наносам и подтопления, была использована комбинация 453 с последующим извлечением информации, и ее пере классификации (Remap). На рисунке 4 представлена серия сцен Landsat, где показаны участки с выявленной высокой влажностью на поверхности.

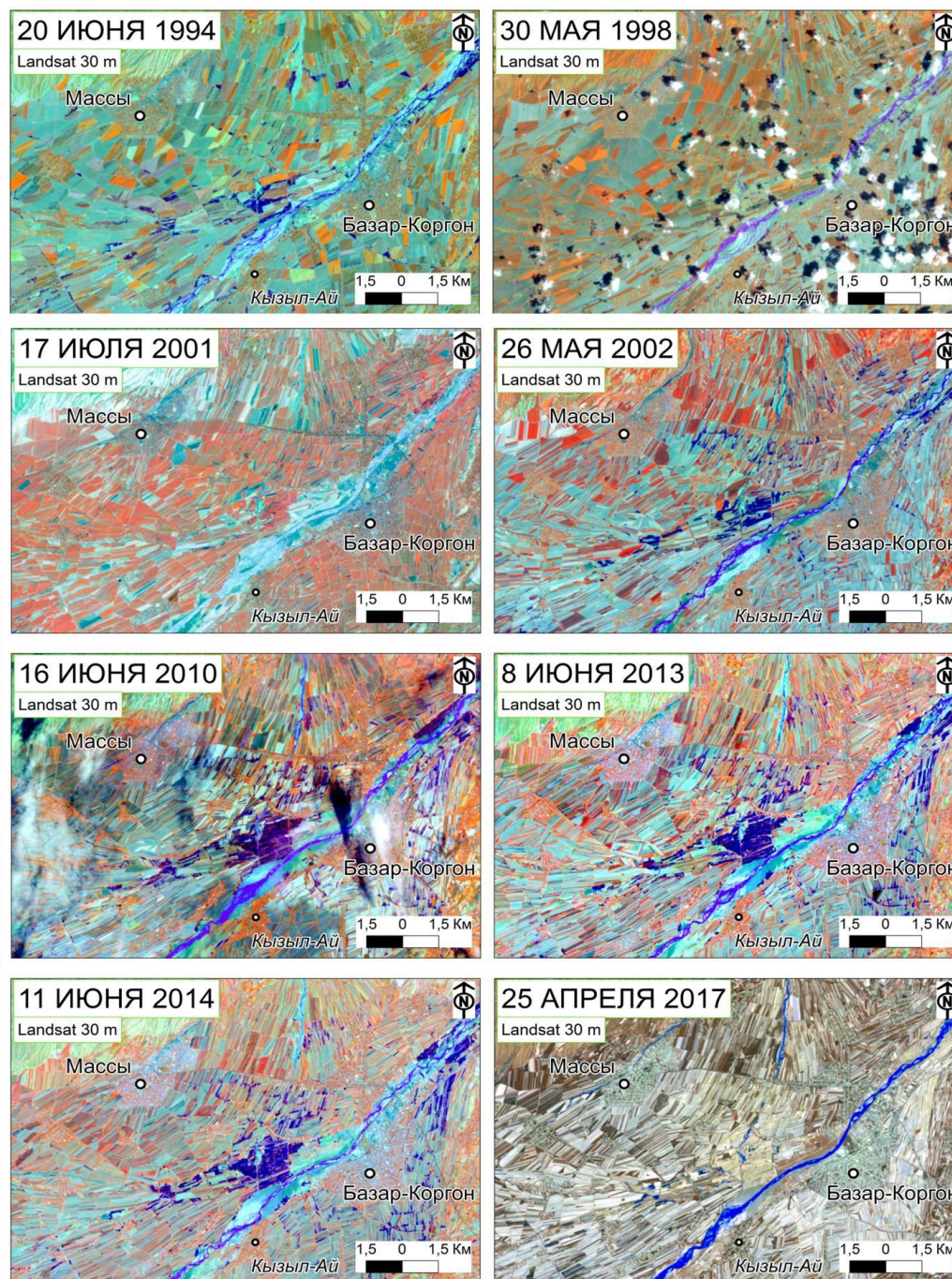


Рисунок 4. Серия сцен Landsat за 1994-2017. Комбинация RGB 453. Участки с повышенной влажностью отображены, синим цветом. На фрагменте сцены, за 2010, темные пятна – тени от облаков.

Необходимо отметить, что анализ для сцен начиная с 2003 по 2009 авторами не проводился из-за некорректного отображения поверхности по причине технической неисправности в приборе *Scan Line Corrector* (SLC) в инструменте ETM+ спутника Landsat 7 [24]. По полученным результатам, на основе данных Landsat, извлечены и подсчитаны площади детерминированные как «поверхности с высокой влажностью», и указаны в таблице 3.

Таблица 3. «Поверхности с высокой влажностью»

Дата сцены спутникового изображения ГГГГ/ММ/ДД	Площадь в гектарах
1	2
1994/06/20	600,1
1998/05/30	599,6
2002/05/26	1233,1
2010/06/16	3334,4
2013/06/08	2275,3
2014/06/11	2605,1

Из таблицы 3 по значениям указанным в колонке 2 следует что, начиная с 1994 по 2010 прослеживается тенденция увеличения площади и максимальное значение приходится на 2010, при этом если взглянуть на таблицу 2, колонку 3, можно обратить внимание на то, что в 2002 и 2010 годах зафиксировано по 47 случаев селевых явлений. Конечно существуют отличие значений по площади между этими сценами, и авторы предполагают (на основе обследования полевых работ), что после прохождения селе паводковых явлений в 2002 году, определенные инженерные и защитные сооружения были разрушены или утратили свою способность.

На исследуемой территории насчитывается 60 участков развития селепаводковых и боковой эрозии (СибЭ), несущих угрозу жилым домам и инфраструктуре населенных пунктов, с общей площадью захвата 724,8 га и около 83 % участков развитых по правобережью р. Кара-Унгер. При полевых обследованиях по району описаны и систематизированы 60 селепаводковых участков и участков боковой эрозии, зона аккумуляции которых сформирована на склонах северной и близкой к ней экспозициях – 4, на южной и близкой к ней экспозициях – 24, на склонах западной и восточной соответственно 15 и 17.

Большинство СибЭ распространены, в процентном соотношении, по условиям инженерно-геологического районирования, на территории развития в отложениях формации «Молассовые-Кайнозойские» – 49,2 %, в формации «Межгорные впадины» – 27,1 %, в «Горных склонов» – 22 % и в формации «Терегенно-Карбонатные» – 1,7 %.

По условиям градации стока поверхностных вод 71,2 % участков распространены в зоне формирования «0,1-5,1 л/с км²», в зоне «20.1-25 л/с, км²» – 15,2 % и в зоне «Область рассеивания стока» – 13,6 %.

В зоне «Низкогорный <1200 м» – распространено 79,7 % СиБЭ участков, а в зоне «Среднегорный 1200-2500 м» их насчитывается 20,3 % от общего числа.

По классификации воздействия на сооружения они подразделены на три группы: в первой группе распространены «Маломощные» (небольшие размывы, частичная забивка отверстий водопропускных сооружений) – 32,2 %, во второй группе «Среднемощные» (сильные размывы, полная забивка отверстий, повреждение и снос бесфундаментных строений) – 39 % и в группе «Мощные» (большая разрушительная сила, снос мостовых ферм, разрушение опор мостов, каменных строений, дорог) – 28,8 %.

По классификации максимального объема единовременного выноса СиБЭ распространены «менее 1,0 тыс. м³» – 66,1 %, «1,0 тыс. – 10 тыс. м³» – 23,7 % и «0,1 - 1 млн. м³» – 10,2%.

5. Выводы

1. Основной причиной возникновения селепаводковых явлений и боковой эрозии в речной долине р. Кара-Ункур, являются атмосферные осадки (накопление снежного покрова за осенне-зимне-весенний период, температурный режим и дожди ливневого характера).
2. Для применения анализа и визуализации по оценке проявления опасных явлений, связанные с гидрологическими процессами, данные MODIS и Landsat оказывают мощную поддержку по извлечению специфических значений.
3. Существует необходимость дальнейшего изучения использования данных ДЗ, анализ и извлечение «участков с повышенной влажностью» на основе спутниковых изображений Rapid Eye, для проведения корреляции с полученными результатами на основе данных Landsat.

6. Благодарность

Исследования проведены в 2014 году в рамках проекта «Комплексная оценка природных рисков в Кара-Ункурском водном бассейне» при финансовой поддержке офиса ПРООН в Кыргызстане. Авторы благодарят «Кыргызгидромет» за предоставленную информацию, также благодарят Конокова Т., Серенкова А. за сбор и обработку полевых данных, и водителя Осмонова Ж.

Список литературы

1. Атлас Киргизской ССР. - М.: Из-во ГУГК, 1987.-Т.1.-157 с.
2. Исаев Д. И., Глушков М. И., Алиев З. А., Данилина А. П., Токомбаев Ш. Рельеф Киргизии.-Фрунзе: Илим, 1964.-154 с.
3. Маматканов Д. М., Бажанова Л. В., Романовский В. В. Водные ресурсы горного Кыргызстана на современном этапе. – Бишкек: Илим, 2006-276 с.

4. Климат Киргизской ССР/под ред. Рязанцевой З.А.-Фрунзе: Илим, 1965.-291 с.
5. Критерии опасных (неблагоприятных) гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения об их возникновении. Руководящий документ. Главное управление по гидрометеорологии МЭиЧС Кыргызской Республики. Бишкек. 2002г. стр.4-5.
6. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология. Л., Недра, 1978. - 496 с. УДК 624.131.1
7. Бондарик Г. К. Методика инженерно-геологических исследований. – М.: Недра, 1986.-333 с.
8. Перов В. Ф. Селеведение.- М.: Географический факультет МГУ, 2012-272 с.
9. Абдыбачаев У., Молдобеков Б. Д., Ибатулин Х. В. и др. Новая кадастризация оползневых рисков на примере Алайского района Ошской области Кыргызстана. //Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии: материалы международной конференции. – Б.: 2014, 193-197 с. ISBN 978-9967-11-449-4.
10. Ормуков Ч. А., Абдыбачаев У. А., Молдобеков Б. Д. Инвентаризация и оценка оползневых рисков в районе г. Сюлюкта, Баткенской области Кыргызстана. // Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии: материалы международной конференции. – Б.: 2014, 193-197 с. ISBN 978-9967-11-449-4.
11. Ниязов Р. А., Минченко В. Д., Ташматов Х. М. Мониторинг экзогенных геологических процессов. Ташкент: Фан, 1991. 180 с.
12. Roessner S., Behling R., Abdybachaev U. Multi-temporal optical and radar satellite remote sensing for spatial-temporal analysis of landslide activity at a regional scale in southern Kyrgyzstan. //Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии: материалы международной конференции. –Б.: 2014, 80-85 с. ISBN 978-9967-11-449-4.
13. Podobnikar T. Methods for visual quality assessment of a digital terrain model. S.A.P.I.E.N.S. 2.2 /2009:VOL.2/№2 SPECIAL ISSUE.
14. Серия выпусков журнала ГЕОМАТИКА с 2008 по 2015. <http://geomatika.ru/eng/archive.html>.
15. Корачкова V., Rapprich V. Slope dependent morphometric analysis as a tool contributing to reconstruction of volcano evolution. Earth and Environmental Sciences. 219-240 p. 2011. <http://cdn.intechopen.com/pdfs/24557.pdf>.
16. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. – Б.: МЧС КР, 2013 и 2014, ISBN 978-9967-23-948-4.
17. Руководство по гидрометеорологическим прогнозам, выпуск 1.Л.:Гидрометеоздат, 1989г.
18. Карамолдоев Ж. Ж., Калашникова О. Ю. Оценка корреляционных связей вегетационного стока рек Верхнего Нарына. Материалы международной конференции КРСУ 20 лет. 2013г.

-
19. Калашникова О. К разработке методов долгосрочного прогноза стока горных рек и притока воды в водохранилище на примере реки Нарын. Изд-во: Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. Бишкек. №5, 2015г.
 20. Gafurov A., Ludtke S., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Scho"ne T., Schmidt S., Kalashnikova O., Merz B. MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. *Environmental Earth Science* (2016) 75:1078.
 21. Проект методических указаний к прогнозу селевой опасности в предгорьях Ферганской долины. Труды САНИИ, Госкомгидромета, 1984г. С.13.
 22. Салихова Х. Д. Аэросиноптический метод краткосрочного прогноза снегово-дождевых паводков в р. Кашкадарья. Теоретическая и прикладная метеорология.:Изд.»Фан»УзССР.1975, вып.2.
 23. Салихова Д. Х., Ляховская Л. Ф. Прогноз селевой опасности в бассейне р. Сурхандарья. Труды СИНИИ. Госкомгидромета, 1982, вып.89(170), с.121-125.
 24. http://landsat.usgs.gov/Landsat_7_ETM_SLC_off_data_products.php «estimated 22 % of any given scene is lost because of the SLC-off failure».