

**Национальная Академия наук Кыргызской Республики  
Институт водных проблем и гидроэнергетики**

**Университет Геологических Наук  
Институт гидрогеологии и инженерной геологии Республики Узбекистан**

Диссертационный совет Д 25.23. 687

На правах рукописи

УДК: 624. 131.

**Загинаев Виталий Викторович**

**Закономерности формирования селевых потоков (на примере  
Северного Тянь Шаня)**

Диссертация на соискание ученой степени,  
доктора геолого-минералогических наук наук

Научные консультанты:

академик НАН и РТ **Маматканов Д.М.**

д.г.н., профессор

Чонтоев Д. Т.

Бишкек - 2024

## Оглавление

<b>ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ</b> .....	5
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>ГЛАВА 1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ</b> .....	10
1.1.Общая характеристика территории исследований .....	10
<b>1.2. Условия изменения климата и их последствия в районе исследования</b> 14	
<b>1.3. Изученность района исследований</b> .....	15
1.4.Развитие селей и паводков на территории Северного Тянь-Шаня.....	19
<b>1.5. Влияние осадков на селеформирование</b> .....	26
Выводы по главе.....	27
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	28
2.1. Инженерно-геологические методы оценки.....	28
селепаводковых процессов и явлений .....	28
<b>2.2. Принцип работы численных моделей для моделирования селевых потоков</b> .....	30
<b>2.2.1. Моделирование в RAMMS</b> .....	30
2.2.2. Моделирование в HEC-RAS .....	33
2.2.3. Исходные данные для моделирования селевого потока .....	34
2.3. Дендро-геоморфологический метод реконструкции палеоселевой активности .....	36
<b>2.3.2. Подготовка к анализу</b> .....	38
2.3.3. Лабораторный анализ .....	38
2.3.4. Оценка моренно-ледниковых комплексов и ледников.....	40
Выводы по главе.....	41
<b>ГЛАВА 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ</b> .....	42
3.1. Закономерности прохождения селей ливневого происхождения.....	45
3.2. Селевые потоки прорывного генезиса .....	59
<b>3.2.1. Прорыв озера Такыртор</b> .....	61

3.2.2. Прорыв озера Тезтор.....	63
3.2.3. Прорыв озера Челектор.....	65
3.2.4. Прорыв озера Акпай.....	66
3.2.5. Селевые процессы в бассейнах рек Тон и Тосор, Ыссык-Кульской области.....	67
3.3. Оценка опасности селевого поражения автодороги в долине реки Барскаун	68
3.2.6. Селевые потоки угрожающие городу Чолпон-Ата.....	84
Выводы по главе.....	88
Глава 4. Моделирование селевых потоков на примере речных долин Северного Тянь-Шаня .....	90
4.1. Моделирование селевых потоков в программе RAMMS .....	92
4.2. Моделирование селевого потока по утвержденной национальной методике	97
4.2.1. Определение высоты прорывного потока .....	97
4.2.2. Определение ширины и границ зоны поражения .....	99
4.2.3. Определение расхода паводкового потока .....	101
4.3. Моделирование паводкового потока в программе HEC-RAS .....	102
4.4. Сравнение результатов моделирования .....	104
<b>Выводы по главе</b> .....	106
Глава 5. Палеоактивность селевых потоков Северного Тянь-Шаня .....	110
5.1. Селеформирование в долинах рек Ала-Арча и Аламедин.....	115
5.2. Проведение дендрохнологического анализа.....	121
Выводы по главе.....	130
Глава 6. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ СЕЛЕВЫХ И ПАВОДКОВЫХ ПОТОКОВ .....	131
6.1. Анализ существующей нормативно-правовой базы .....	131
6.2. Селеоопасные участки города Бишкек .....	134
6.3. Защита важных инфраструктурных объектов .....	144
<b>Выводы по главе</b> .....	146
<b>Заключение</b> .....	148
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	152

Приложение 1. Каталог селеопасных рек Северного Тянь-Шаня .....	164
Приложение 2. Геологическая карта бассейна реки Ала-Арча .....	189
Приложение 3. Инженерно-геологическая карта бассейна реки Ала-Арча..	190
<b>Приложение 4. Моделирование возможных прорывов озер для р.Тон и Тосор</b>	<b>191</b>
<b>Приложение 5. Моделирование возможных прорывов озер для р.Ала-Арча</b>	<b>193</b>

## **ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ**

АА – Айыл аймак

АИК – Адаптация к изменению климата

АОРБ – Анализ и оценка рисков стихийных бедствий

БПЛА – Беспилотный летательный аппарат

ДМПЧС – Департамент мониторинга, прогнозирования чрезвычайных ситуаций

ДЗ – Дистанционное зондирование

ЕСКМП – единая система комплексного мониторинга и прогнозирования

ИВП и ГЭ – Институт водных проблем и гидро-энергетики

НАН - Национальная Академия наук

КР – Кыргызская Республика

ККГГЭ – Кыргызская комплексная гидрогеологическая экспедиция

МЧС – Министерство чрезвычайных ситуаций

ОПП – Опасный природный процесс

СРБ – Снижение риска бедствий

УРСБ – Управление рисками стихийных бедствий

ЧС – Чрезвычайные ситуации

ЭГП – Экзогенные геологические процессы

GIS – Geographic Information System

DEM – Digital Elevation Model

х. – хребет

р. - река

м н.у.м. – метры над уровнем моря

м<sup>3</sup>/с – метры кубические в секунду

кг/дм<sup>3</sup> – килограмм на дециметр кубический

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы диссертации.**

Кыргызская Республика сталкивается с рядом проблем, связанных с негативным воздействием опасных природных процессов, особенно с селевыми потоками и паводками, которые оказывают значительное воздействие на её территории. Эти природные явления не только угрожают безопасности и благополучию населения, но и влияют на экономические процессы в стране, порой серьёзно затрудняя экономическое развитие и инфраструктурное строительство. Кроме того, чрезвычайные ситуации, где ключевую роль играет водная составляющая требуют особого внимания ввиду климатических изменений. Селевые потоки зачастую охватывают обширные территории и требуют затрат значительных ресурсов на восстановление и реабилитацию территорий. Все эти аспекты существенно влияют на социальную сферу, создавая дополнительные вызовы в области образования, здравоохранения и обеспечения жизненно важных потребностей населения, а также требуют комплексного подхода в планировании стратегии устойчивого развития страны.

В исследовании селевых потоков в целом и для стран Центральной Азии внесли вклады труды научные: Флейшмана С.М., Перова В.Ф., Чуринов М.А., Горбунов А.П., Северский Э.В. Виноградов Ю.Б.Шеко А.И., Гостева В.П., Ерохина С.А., Степанова Б. С., Церетели Э.Д., Черноморец С.С., Шатравина В.И., Стависского Я.С., Мавлонова А.А., Ибрагимова А.С., Валиева Ш.Ф., Медеу А.Р., Колотилин Н.Ф., Керемкулов В.А., Дуйсенов Е., Яфязова Р.К., Степанова Т.С., Вардугин В.Н., Малахов В.Д., Благовещенский В.П., Байнатов Ж.Б., Белогривцева Р.И., Загинаева В.В., Гавришина Л.Н. и многих других ученых.

Селевые потоки и паводки могут нанести огромный ущерб городам, селам, транспортной инфраструктуре, включая мосты, мостовые и переходы и другие объекты, коммуникациям, сельскохозяйственным угодьям, гидроэнергетическим сооружениям, системам ирригации и другим важным объектам.

По данным Департамента мониторинга прогнозирования ЧС при МЧС КР, сели и паводки являются наиболее распространенным типом стихийных бедствий с 31 % от всех зафиксированных опасных природных процессов [48].

Селевые потоки и паводки могут нанести огромный ущерб городам, селам, транспортной инфраструктуре, включая мосты, мостовые и переходы и другие объекты, коммуникациям, сельскохозяйственным угодьям, гидроэнергетическим сооружениям, системам ирригации и другим важным объектам.

Обеспечение эффективного противодействия существующим и потенциальным рискам возникновения опасных природных процессов,

возможно только при учете всех особенностей риска, а также специфики их проявления [21].

Использование информации о рисках и существующих систем контроля для минимизации воздействия позволяют комплексно оценить степень вероятности, масштабы воздействия, ожидаемые последствия угроз, адаптационный потенциал, а также комплексно определить степень риска.

Указанные выше факторы усиливают риски для ключевых элементов инфраструктуры населённых пунктов и повышают опасность для жизни и имущества людей в случае возникновения селевых потоков, обусловленных увеличением осадков и разрушением горных озёр. Это влечёт за собой необходимость укрепления способностей местных сообществ к эффективному раннему предупреждению и проведению профилактических мер для оперативного реагирования на возможные природные катастрофы.

Предгорные и равнинные густонаселённые территории северного Тянь-Шаня, находятся под воздействием различных опасных экзогенных геологических процессов, включая склоновые и русловые явления. Жизнь в этих районах связана с увеличенным риском, особенно в горных зонах, где такие процессы возникают и развиваются. Горные долины и предгорные равнины Кыргызской Республики подвержены действию опасных природных процессов, таким как обвалы, оползни, сели, камнепады, прорывы высокогорных озер и другие. С 1990 по 2023 год экзогенные геологические процессы и метеорологические явления привели к возникновению более 1820 случаев селей и паводков [48]. Селевые процессы являются наиболее частым природным бедствием в стране, причиняя значительный вред населению и разрушая инфраструктуру и сельскохозяйственные угодья. Селевые потоки формируются под влиянием гидрологических и геологических факторов, при этом вода образует основу потока, а геологические условия способствуют его обогащению крупными обломками. Это исследование посвящено изучению селевых потоков на северных склонах Тянь-Шаня. Актуальность работы обусловлена нехваткой данных по данной теме в регионе, учитывая его сложное геологическое строение, высокую сейсмическую активность и меняющиеся климатические условия. Основное внимание в исследовании уделяется горным долинам северного склона Кыргызского хребта, Терской Ала-Тоо и южного склона Кунгей Ала-Тоо, где наблюдается рост активности селевых потоков, представляющих серьёзную опасность для местного населения. Убытки от селевых потоков и наводнений в этом регионе могут быть огромными, включая как прямой ущерб от разрушения зданий и инфраструктуры, так и косвенный ущерб для сельского хозяйства и пастбищ [19]. В свете этого, изучение селевых потоков в регионе становится

крайне важным для смягчения или устранения угрозы катастрофических последствий, включая разработку защитных мер и рекомендаций.

**Цели и задачи** данного исследования сосредотачиваются на усовершенствовании методов оценки опасности и активности селевых долин, а также прогнозировании их опасности. Вот основные задачи:

- Изучение особенностей развития селевых процессов Северного Тянь-Шаня.
- Анализ воздействия геологических процессов на формирование селей.
- Разработка методики определения областей, подверженных опасности от селевых потоков в речных долинах.
- Проведение палеоселевой реконструкции селевой активности на примере долин расположенных в центральной части Кыргызского хребта

**Объектом исследования** являются горные долины рек, Северного Тянь-Шаня, в том числе селевые очаги, конуса выноса селевых потоков.

Методология исследования включает:

- Анализ архивных отчетов, документов о геологических процессах в Кыргызской Республике.
- Интерпретация аэрофотографий и спутниковых снимков.
- Проведение аэровизуальных и наземных исследований, включая инженерно-геологическую съемку и обследование селесборов и селевых очагов.
- Проведение полевых работ с извлечением кернов из поврежденных селевыми потоками деревьев.
- Камеральный лабораторный анализ извлеченных образцов древисины.
- Компьютерная обработка данных, включая использование геоинформационных систем для создания карт и обработки спутниковых изображений.

**Научная новизна** данной работы заключается в следующем:

- Разработка комплексного подхода для оценки селевой активности, малых селесборных бассейнов;
- Использование метода дендрохронологического датирования для анализа палеоселевой активности рек Кыргызского хребта;
- Усовершенствование методики определения границ зоны поражения селевым потоком с применением БПЛА;
- Составлен каталог селевых потоков Северного Тянь-Шаня.

**Практическая значимость** результатов исследования заключается в следующем:

- Разработанные карты и схемы развития селевых процессов используются для планирования мер по обязательной защите от селей Министерством по чрезвычайным ситуациям Кыргызской Республики для составления прогнозов развития опасных явлений на территории страны.
- Разработанные критерии оценки селевой опасности позволяют выявить наиболее уязвимые горные долины, что помогает экономить средства на

эффективном управлении селевой опасностью и предотвращать строительство в рискованных местах.

- Результаты исследования широко используются при организации системы защиты населения от природных опасностей в Кыргызстане.
- Разработанный и представленный в данной работе материал может применяться для обучающего материала для магистрантов и аспирантов в области изучения селевых процессов и смежных специальностей.

**Основные положения**, представленные в диссертации:

1. Разработанные научно обоснованные методологические подходы и критерии оценки селевой опасности в горных ущельях и долинах на примере репрезентативных малых селесборных бассейнов рек и сухих саев горных склонов Северного Кыргызстана.
2. Развитие инновационного научного направления «Палеоселеведение», обоснованное проведенными полевыми инструментальными исследованиями по палеоселевой реконструкции селей с использованием метода дендрохронологии, с расчётом коэффициента селевой активности, для типизированных пилотных селеопасных бассейнов рек Северного Тянь-Шаня
3. Новый модернизированный подход к расчетам зоны поражения селевыми и паводковыми потоками с учетом использования БПЛА и ГИС, позволивших уточнить достоверность прогностических данных и повысить эффективность выработки рекомендаций для снижения негативных воздействий селевых рисков бедствий на население и территорию Северного Кыргызстана.
4. Впервые выявлены особенности взаимосвязи и оценена роль заморенности ледников и селевой активности речных бассейнов исследуемых горных долин Северного Кыргызстана и результаты внедрения полученных выше данных в практическую деятельность МЧС КР.

**Публикации.** Результаты докторской диссертации достаточно полно отражены в публикациях автора. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из них 4 в зарубежных журналах (Scopus), две публикации в рецензируемых журналах РИНЦ, остальные публикации сделаны в рекомендуемых ВАК КР журналах - всего 310 баллов по принятой ВАКом КР балльной системе.

**Структура и объем работы.** Содержание диссертации включает в себя введение, шесть глав, заключение, список литературы и три приложения. Общий объем работы составляет 164 страницы компьютерного текста, в том числе 17 таблиц и 89 рисунков.

**Автор выражает глубокую благодарность** научному консультанту, д.г.н., профессору Чонтоеву Д.Т. Особую признательность автор выражает за помощь в подготовке работы, ценные советы и указания: д.г.-м.н. профессору Усупаеву Ш.Э, к.г.-м.н. Ерохину С.А. и к.ф.-м.н. Тузовой Т.В.

## **ГЛАВА 1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ**

### **1.1. Общая характеристика территории исследований**

Кыргызская Республика, государство, расположенное в Средней Азии, отличается тем, что более 80% территории располагается в горной и высокогорной зонах. Рельеф выделяется своим уникальным разнообразием природных условий, насыщенностью контрастов в физико-географическом ландшафте, сложностью геологической структуры, а также

геоморфологическими и гидрогеологическими характеристиками. Эта страна является частью горных систем Памира и Тянь-Шаня, при этом Тянь-Шань состоит из многочисленных горных хребтов, большинство из которых располагаются в широтном или субширотном направлениях. «На территории Кыргызстана более 60% земель находится на высоте в 2000–4000 метров над уровнем моря [1]. Горные массивы в этой системе главным образом ориентированы вдоль широтных линий. Тянь-Шань включает различные орографические области, такие как Северный, Восточный, Западный, Юго-Западный и Центральный Тянь-Шань» [64]. Северный Тянь-Шань представляет собой сравнительно молодую горную область, которая включает в себя такие хребты, как Таласский, Кыргызский, Кунгей и Терскей Ала-Тоо, расположенные в пределах Кыргызской Республики [9]. Северный Тянь-Шань представляет собой относительно молодую горную область в составе Кыргызстана, включающую Таласский, Кыргызский, Кунгей и Терскей Ала-Тоо. Эти горные хребты возникли из массивных блоков, возвышенных над древней ровной поверхностью, которая затем подверглась формирующим рельеф процессам, включая интенсивную речную эрозию.

Территория северного Тянь-Шаня относится к территории с высокой сейсмической активностью [42, 47], что оказывает также влияние на устойчивость дамб высокогорных озер.

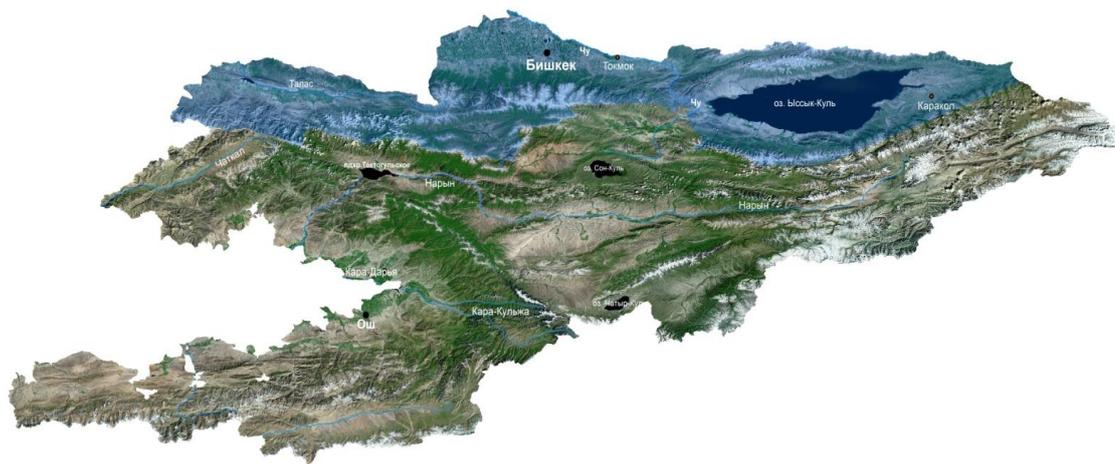


Рис. 1.1. Карта территории Кыргызстана. Район исследования в пределах Северного Тянь-Шаня обозначен синим цветом

Формирование горного ландшафта высокогорья Северного Тянь-Шаня во многом обязано древнему воздействию ледников, которые сформировали троговые долины и ледниковые цирки. Альпийский тип рельефа характерен для центральных частей горных массивов Северного Тянь-Шаня, который включает в себя районы современного и позднего плейстоценового оледенения высших и

высотных скалистых гряд, расчлененными карами, цирками и трогами, где склоны имеют уклон от 45 до 80 градусов и глубину расчленения до 3000 метров. Этот рельеф преимущественно встречается выше нынешней границы снега на высотах от 3500 до 4000 метров.

Нынешнее оледенение Тянь-Шаня представлено разнообразными типами ледников, включая каровые, подвесные, плоскогорные, дендритные и долинные. Общий охват оледенения составлял 8833,3 км<sup>2</sup> [49], а по современным данным инвентаризации ЦАИИЗ общая площадь ледников 6 804.8 км<sup>2</sup>. В районе Северного Тянь-Шаня, на территории Кыргызстана, «оледенение Кыргызского хребта преобладает в центральной части, охватывая верховья таких рек как Ала-Арча, Аламедин, Иссык-Ата и другие. Главные узлы оледенения Кунгей-Ала-Тоо находятся вдоль его северных склонов, с наиболее мощным узлом в бассейне рек Шилик и Чон-Кемин, а на Терском Ала-Тоо — у Чон-Кызылсуу и в массиве Ак-Шийрак» [104].

Горный рельеф Северного Тянь-Шаня отличается высокой степенью сложности, а склоны его горных хребтов демонстрируют динамичность. Наряду с высокими хребтами Терской и Кунгей-Ала-Тоо, высота которых в среднем составляет 4200 метров над уровнем моря, так же имеются внутренние горные котловины, долины, подножные наклонные равнины и другие рельефные образования [55].

Кыргызский хребет ограничивает Чуйскую долину с юга и простирается на длину 454 километра. Среди типичных для него элементов рельефа можно отметить цирки, кары, карлинги, бараньи лбы, ригели, трогги, останцы, сформированные под воздействием ледников, а также ледниковые гроты, пещеры, курумы, нетронутые морены и солифлюкционные потоки. Цирки и кары встречаются здесь повсеместно и часто именно с них начинаются главные реки и их притоки.

Большая часть склонов в средней их части характеризуется V-образными ущельями с крутыми, иногда почти вертикальными стенами. Водоразделы, как правило, скалистые, особенно в районах, где преобладают метаморфические породы. На северо-востоке Кунгей-Ала-Тоо и Терского Ала-Тоо, а также в районах с распространением порфиroidных гранитоидов, преобладают более сглаженные формы рельефа, широко распространены участки, покрытые аллювиально-делювиальными отложениями, при этом скальные выходы не образуют непрерывную цепь.

На горных склонах развиваются эрозионные процессы, образуются камнепады и осыпи, местами — оползни, в ущельях — селевые потоки, также в связи с деградацией оледенения — развиваются и появляются новые

прорывоопасные озера. Высокой селевой активностью речных долин отличаются северные склоны Терской Ала-Тоо и Кыргызского хр.

На склонах гор Тянь-Шаня наблюдаются интенсивные эрозионные процессы. Часты явления камнепадов и скальных обвалов, в отдельных местах фиксируются оползни, в ущельях формируются селевые потоки. С учетом тенденции к сокращению ледников, возникают и увеличиваются в размерах прорывные озера, что усиливает опасность потоков. Особенно высок риск селевых потоков на северных склонах Терской Ала-Тоо и Кыргызского хребта.

Уязвимость к формированию селей в изучаемом регионе определяется геологической структурой местности. Кыргызский хребет состоит в основном из осадочных и метаморфических пород, порфиритов и гранитов, что способствует активизации процессов селевого стока.

Хребты Северного Тянь-Шаня являются относительно молодыми геологическими формациями, что обуславливает высокую сейсмическую активность в регионе. Северный Тянь-Шань, простирающийся более чем на 600 км, является сейсмически активной зоной, где землетрясения могут спровоцировать усиление селевых процессов.

Комплексный и многогранный рельеф, значительные амплитуды высот, а также продолжительная геологическая история региона создают разнообразие природных условий. «В горах и предгорьях Кыргызстана сформировались благоприятные условия для возникновения опасных природных явлений, таких как селевые потоки, паводки, обвалы, камнепады, оползни, прорывы горных озер и подтопления из-за подъема грунтовых вод» [48].

Селевая опасность характерна для рек, протекающих через Кыргызский хребет и впадающих в реку Чу. К таким рекам относятся Ала-Арча, Аламедин, Иссык-Ата и другие. Реки, стекающие с южного склона Кунгей и с северного Терской Ала-Тоо, впадают в озеро Иссык-Куль, среди них селевоопасные Кабырга, Чон-Аксу и другие. Речные потоки обладают характеристиками молодых горных систем: неустойчивостью продольного профиля, крутым падением русел (равной в горной части 0,16 – 0,18), наличием водопадов и др.

Реки питаются преимущественно за счет таяния снежников и ледников, что обуславливает непостоянный гидрологический режим с резкими суточными и сезонными колебаниями расходов. Летом, в теплое время суток, расход воды возрастает из-за таяния снега и льда в верховьях.

Климат исследуемого района (Северный Тянь-Шань) варьируется в зависимости от высоты: от умеренно-континентального в низменных областях до континентального на высотах от подножий хребтов до 3600-3800 метров и нивального – выше линии снега.

## 1.2. Условия изменения климата и их последствия в районе исследования

Самым заметным изменением в климате является повышение температуры в нижних слоях атмосферы. Это приводит к таянию ледников в горных районах, включая вечную мерзлоту, что уменьшает их общую площадь. В результате поднимается уровень мирового океана и учащаются экстремальные гидрометеорологические явления, такие как сели, оползни и снежные лавины. Количество атмосферных осадков в целом по планете увеличивается, хотя в аридных регионах оно сокращается, а также наблюдается изменение в их характере, например, на больших высотах в зоне ледников вместо снега часто выпадают ливневые дожди.

«Климат формируется на территории исследования за счет атмосферной циркуляции, радиационных условий и особенностей подстилающей поверхности. Для территории Северного Тянь-Шаня характерна континентальность климата, которая значительно смягчается в Иссык-Кульской котловине» [40]. В зимний период бассейны находятся под воздействием областей высокого давления, что способствует установлению безоблачной морозной погоды с резко выраженными инверсиями температур и незначительным количеством осадков [54].

В климатическом отношении Кыргызский хребет подвергается воздействию северных и северо-западных воздушных масс. Склоны хребтов характеризуются повышенной степенью увлажненности. Климат отличается резко континентальными чертами бореального характера [40, 53, 55].

Климатические факторы в системе селевого процесса рассматриваются с учетом метеорологических условий характерных для определенных районов, как в многолетнем разрезе, так и за короткий промежуток времени, предшествующий селевым потокам.

На Кыргызском хребте расположено 607 ледников площадью 530,4 км<sup>2</sup>. Наибольшая часть ледников расположены в бассейнах рек Сокулук, Ала-Арча, Аламедин и Ысык-Ата. Самый крупный ледник Голубина имеет длину 5,5 км и площадь 9,4 км<sup>2</sup> и расположен в бассейне р. Ала-Арча [104]. В водосборной области реки Ала-Арча общая площадь ледников достигает 53,5 км<sup>2</sup>, включая 12 значительных каменных ледников (rock glaciers) с совокупной площадью 26,9 км<sup>2</sup>. Кроме того, суммарная площадь морено-ледниковых комплексов и аккумуляций, а также других гляциальных связанных форм, включая погребенные льды, составляет 27,2 км<sup>2</sup>, что составляет 51% от общей площади современных ледников в этом регионе.

Для процесса селеформирования важно наличие водной составляющей, на которую оказывают влияние следующие метеорологические параметры: 1)

количество атмосферных осадков; 2) режим и вид их выпадения; 3) температура воздуха. Атмосферные осадки являются наиболее изменчивым климатическим фактором, участвующим в формировании селевых потоков ливневого генезиса. Изменение интенсивности выпадения атмосферных осадков на склонах Северного Тянь-Шаня не везде одинаково, что обусловлено особенностями строения рельефа, орографией и гипсометрией хребтов. Температурный фактор является главным в процессе формирования селевых потоков прорывного генезиса. Возрастание среднегодовой температуры наблюдается практически одинаковым во всех климатических зонах и регионах Республики, за исключением Иссык-Кульской области [53, 54]. Общий тренд повышения температуры воздуха влияет на таяние ледников. За последние годы на территории исследования произошло уменьшение площади ледников [104], что привело к увеличению количества высокогорных прорывоопасных озер, увеличению их площади и потери устойчивости плотин. «Начиная с конца 1970-х гг. и до 2018 г., происходит неуклонный рост скорости отступления ледников Северного Тянь-Шаня. Так, в период 1990-2006 гг. средняя скорость отступления ледников была максимальной за последние 150 лет и составила 18-20 м/год» [104]. По данным ЦАИИЗ площади ледников сократились на 16 % за примерно 70 - ти летний период (2016 г.) в общем оледенении Кыргызской Республики. Так площадь оледенения в бассейне р.Чу сократилась за указанный ранее период на 28%, в бассейне озера в бассейне р.Иссык-Куль на 14% в бассейне р.Талас на 47% [104].

### **1.3.Изученность района исследований**

Селевые процессы и явления в основном изучались в составе комплексных работ по изучению опасных экзогенных геологических процессов.

Некоторые сведения о проявлениях опасных ЭГП, особенно обвальнo-осыпных процессов, на территории региона в прошлом можно найти в географической и геологической литературе XIX-го, начале XX-го веков. Например, в географическом описании Туркестанского края, составленного князем В.И. Масальским в 1913 году, в работах П.П. Семенова-Тянь-Шанского (1948), К.И. Богдановича (1911), И.В. Мушкетова (1890), Н.А. Северцева (1867) [24].

В более поздний период XX-го века, начиная с 20-тых годов, изучение опасных ЭГП становится необходимым, в связи с распространением хозяйственной деятельности в регионе на горную зону. В горах появляются горнорудные предприятия, строятся новые дороги, прокладываются линии ЛЭП. Ценные сведения о развитии опасных ЭГП содержатся в инженерно-

изыскательских, географических и геологических работах. Наиболее известными среди авторов подобных работ являются Н.Н. Кузнецов-Угамский (1931), Б.А. Федорович (1931, 1934, 1935), В.В. Шумов (1932), С.С. Шульц (1943, 1945, 1948), В.Л. Шульц (1949) [10].

Большой вклад в изучение опасных ЭГП в Республике внесли сотрудники Физико-географической станции Академии наук Киргизской ССР Г.А. Авсюк (1952, 1953), Л.Г.Бондарев (1960, 1963), М.И.Иверонова (1952, 1953), Р.Д.Забиров (.1956), А.Н.Диких (1966, 1971) [24].

Экзогенные геологические процессы специально не изучались при проведении геологических, гидрогеологических инженерно-геологических исследований Чу-Иссыккульского региона. Однако результаты этих исследований дают представление о той природной ситуации, в которой развиваются опасные ЭГП.

С 1954 года республиканскими УГМС специальные отряды для реагионального обследования селеносных долин по следам прошедших селей.

Так в процессе проведения комплексных крупномасштабных геологических съемок, которые сопровождались поисками полезных ископаемых (Буртман, 1961; Захаров, 1962; Охотников, 1967; Турбин, 1970; Помазков, 1971; Грищенко, 1970) было дано представление о геологической основе развития опасных ЭГП. Установлено, например, что важнейшим фактором формирования опасных ЭГП является стратиграфо-литологический фактор. В последующем в работе Ерохина (2003) будет показано, что каждый тип опасных ЭГП образуется в горных породах определенного состава и возраста. Участки развития того или иного типа опасных ЭГП состоят из определенного набора стратиграфо-литологических комплексов.

Особенно полезная информация для изучения ЭГП представлена в отчетах по съемкам четвертичных отложений (Курдюков, 1961; Турбин, 1966). В них приводится характеристика состава и строения рыхлообломочного материала, который непосредственно вовлекается в действие ЭГП, оказывая при этом обратное действие на динамику и мощность опасного процесса [11].

Краткая информация о проявлениях ЭГП содержится в многочисленных отчетах по гидрогеологическим и инженерно-геологическим съемочным работам масштаба 1:50000: В.Е.Матыченкова (1965), А.Е. Наперсткина (1966), Н.И.Бондарь (1967), В.Ф.Левченко (1967), А.С.Михайлова (1969), В.В.Галанина (1981), Е.А.Стрельцова (1974), В.Г.Морозова (1981) и масштаба 1:200000 (Стрельцов, 1962; Воробьев, 1966; Карпов, 1969). По материалам этих работ можно получить представление о гидрогеологических условиях, в которых развиваются опасные ЭГП. При этом степень опасности проявления обвально-оползневых процессов не оценивалась [11-12].

Более тесно с изучением ЭГП связаны специальные инженерно-геологические и экологические обследования, которые отличаются большей детальностью на населенных равнинных участках региона, и более обзорным характером в его горной части, почти не населенной (Григоренко, 1975, Попова, 1964, Неймышева, 1981 Баева, 1999)

Работ, специально предназначенных для изучения селевых процессов, в регионе было не много.

В 1965-1967 гг. проведена селевая инженерно-геологическая съемка Северного Кыргызстана масштаба 1:50 000 (Иваненко, 1967 [38]). Меньше всего при этой съемке изучался сам селевой процесс, но много внимания было уделено описанию геологических и инженерно-геологических условий формирования селевых потоков [12].

Изучение селей в бассейнах оз. Иссык-Куль, рек Чу и Талас в пределах Кыргызской Республики проводилось гидрографической партией УГМС Кыргызской ССР и отделом гидросооружений Института энергетики и водного хозяйства АН по 1975 год. Эпизодические обследования выполнялись отдельными исследователями, их внимание привлекали селеносные долины, находящиеся близ населенных пунктов, инженерных сооружений и путей сообщения.

В 1978 году С.С.Кубрушко и Я.С.Ставиский (1978) оценивают роль гляциальных озер в формировании селевых потоков. Ю.Б.Виноградов (1980) в своих этюдах о селевых потоках вскрывает роль прорывных потоков в формировании гляциальных селей;

В 1975-1986 гг. специалисты Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции под руководством В.П. Гостева (Гостев 1978, 1984, 1988) провели специальное инженерно-геологическое обследование физико-геологических процессов северного Кыргызстана в масштабе 1:200 000. Работы проводились схематично [10-11]. В результате были составлены карты распространения различных типов ЭГП в том числе и селевых процессов, которые представляют ценный материал для составления изучения опасных ЭГП. Детальное изучение опасных типов ЭГП и оценка их опасности при этом не проводилась. Поэтому возникла необходимость углубленного изучения опасных ЭГП для предупреждения их катастрофических проявлений и выработке защитных мер от их угрозы. Для этого необходим мониторинг развития опасных ЭГП, результаты которого и предлагаются в данном отчете.

Изучение селеопасности горных долин в последние 25 лет проводилось совместно с обследованием прорывоопасных озер, ибо селеопасность горных долин во многом зависит от присутствия в долине прорывоопасных озер. В отчетах С.А.Ерохина (1992, 2000, 2003, 2008.2010, 2011, 2012, 2018гг) показано,

что формирование селевых потоков в горных долинах зависит, прежде всего, от развития в горной долине селевых очагов и расхода прорывного потока [13-15].

С 2000 по 2007 гг. А.Н. Диких и С.А.Ерохин проводят работу по типизации и оценке селевой опасности горных озер в Институте геологии НАН Кыргызской Республики [22].

В 2003 году была закончена большая работа коллектива специалистов Инженерно-геологического отряда ККГГЭ по составлению карты развития опасных ЭГП на территории Кыргызской Республики (Ерохин, 2003). Картирования участков развития опасных ЭГП проводилось на основе геологических факторов, так как именно они определяют пространственные границы участков. Метеорологические факторы больше влияют на время активизации процессов. Важнейшим фактором формирования опасных ЭГП является стратиграфо-литологический. Каждый тип процессов образуется в горных породах определенного состава и возраста. Участки развития того или иного типа опасных ЭГП состоят из определенного набора стратиграфо-литологических комплексов. В работе дается понятие стратиграфо-литологического комплекса – это совокупность разнородных разновозрастных горных образований со сходными инженерно-геологическими свойствами, формирующих при соответствующих морфологических условиях определенные типы опасных ЭГП.

На карте отображены участки развития опасных ЭГП, дана оценка степени их опасности, что позволяет выполнять пространственный прогноз проявлений ЭГП на территории Кыргызстана, в том числе и в Чу-Иссык-Кульском регионе. В процессе работы над картой был проведен анализ применяемых в Республике способов защиты от негативного действия ЭГП и дана оценка возможности применения этих способов.

Проблему защиты населения от опасных проявлений ЭГП на территории Республики, в том числе и в Чу-Иссыккульском регионе решали в разные годы несколько ведомств: Госгеолагентство (раньше Управление геологии), Министерство сельского и водного хозяйства, Министерство транспорта и коммуникаций, Министерство строительства, Министерство энергетики. В последние 20-ть лет защитой от опасных ЭГП, активно занимается Министерство чрезвычайных ситуаций, в котором разработана межведомственная республиканская программа и меры по снижению риска возникновения и минимизации последствий природных катаклизмов и техногенного характера, а также защита окружающей среды от радиационного загрязнения в Кыргызской Республике и трансграничных районов со странами Центральной Азии.

Лаборатория высокогорных и селеопасных озер с начала 2020 года была переименована в Лабораторию опасных экзогенных гидрогеологических процессов, где помимо классических подходов по изучению озер используются современные методы по изучению палеоселевой активности речных долин Кыргызстана [28, 50].

В последние годы к проблеме прорывоопасных озер приковано особое внимание [62, 71, 72, 76], которой занимаются как местные ученые, так и ряд ученых из-за рубежа [102, 103].

#### **1.4. Развитие селей и паводков на территории Северного Тянь-Шаня**

«Горные и предгорные долины, сухие речные русла (саи) и низменности в Чуйской и Иссык-Кульской областях, могут стать местами возникновения селевых потоков, каменно-грязевых потоков и паводков, различного происхождения. Риск возникновения этих явлений неодинаков в разных местах: он меняется в зависимости от геологической структуры и характеристик рельефа территории. Эти факторы влияют на вероятность того, что определенные долины, сухие речные русла и низменности могут спровоцировать такие природные катастрофы» [41, 43, 66].

В последние годы, в горных долинах, где существует значительная угроза для населения и территорий, особое внимание уделяется разработке и внедрению систем раннего предупреждения и оповещения. Эти системы предназначены для своевременного информирования жителей о возможных природных опасностях, таких как лавины, оползни или селевые потоки и паводки, что позволяет принять превентивные меры заранее. Таким образом, их цель заключается в минимизации рисков и предотвращении катастрофических последствий для жизни людей и состояния инфраструктуры. Внедрение подобных систем является важной частью стратегии по повышению уровня безопасности и устойчивости в регионах, подверженных природным угрозам [4, 36, 37]. Но для реализации систем мониторинга необходим тщательный выбор долин, основанный на научном подходе, позволяющим дифференцировать долины и находить наиболее селеопасные. Чаще всего такие подходы основаны на выделении в долинах, ряда определенных критериев [63, 65] и на их основе производить оценку селеопасности [68, 69, 78].

В частности, на Кыргызском хребте, высокий уровень селевой опасности наблюдается в нескольких речных бассейнах (согласно рисунку 1.2 – карте селевой опасности составленной С.С. Кубрушко в 1982): бассейн реки Ала-Арча со своими прилегающими долинами Аксай, Тезтор, Адыгене, Топ-Карагай и Кашкасу; бассейн Сокулук, включающий долины Акпай, Ашутор и Кейды-

Кучкач; бассейн Иссык-Ата с опасной долиной Туюк; бассейн Аламедин, где больше всего опасности представляет долина Янткунуш; долина Иша на реке Аксу; в долине реки Нооруз – районы Чирканак и Теке-Тор. В Иссык-Кульской котловине к наиболее селевоопасным относятся долины рек Чон-Аксу, Тон, Аксай, Чон – Кызылсуу, Тамга, Тосор, Джеруй, Чоктал. А среди опасных долин Таласского хребта выделяются Каинды, Эшме, Карасуу, Карабулак, Кокджар. Карта селевой опасности масштаба 1:500 000 не подходит для детального анализа селевой опасности в масштабах селесборных бассейнов и носит больше региональный обзорный характер. Необходимо в дальнейшем сосредоточить усилия на создании динамичной карты селевой опасности с учетом частоты прохождения селевых потоков [14, 15].

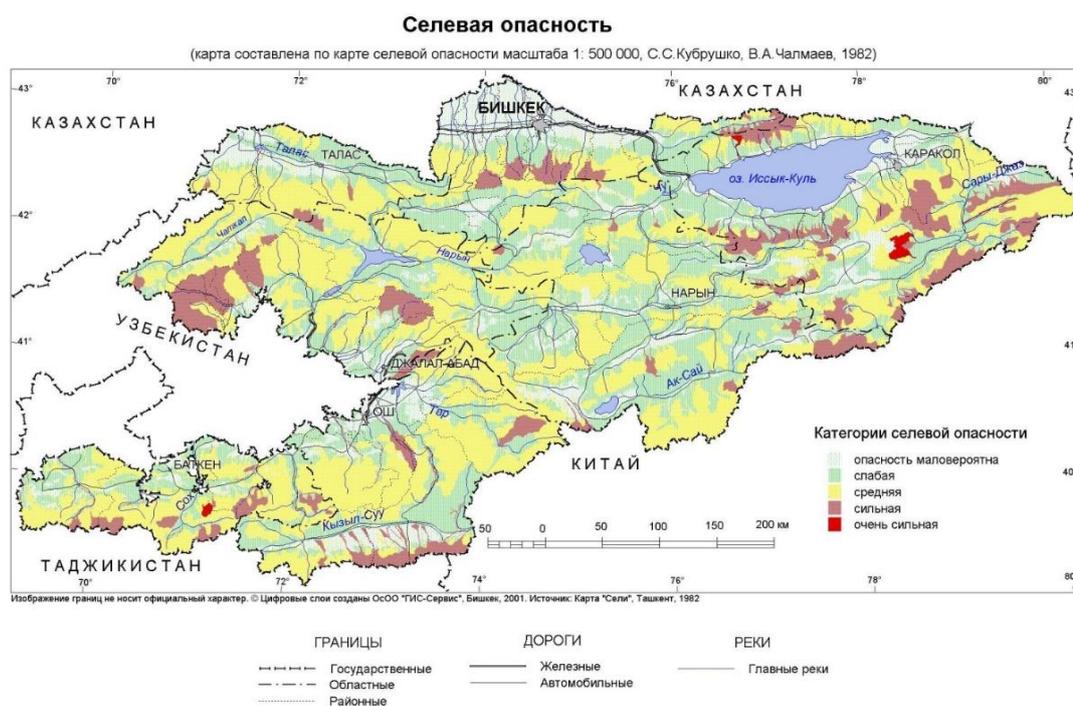


Рис. 1.2. Селеопасные долины Кыргызстана

На рис. 1.3 представлен фрагмент более детальной карты-схемы наиболее селеопасных долин Кыргызского хребта, с обозначением границ селесборов и селеопасных рек, в основном это боковые долины. Номерами обозначены селеопасные долины, вошедшие в каталог селеопасных долин ККГГЭ. Наиболее большие по площади селесборы расположены в верховьях речных долин Ала-Арча, Аламедин и Сокулук.



Рис. 1.3. Карта-схема селеопасных бассейнов рек Кыргызского хр.

В соответствии с классификацией селевых потоков [17-20], разработанной инженерно-геологической группой в рамках деятельности ККГГЭ под эгидой Министерства природных ресурсов, экологии и технического контроля Кыргызской Республики, различные долины могут проявлять разную степень предрасположенности к формированию селевых потоков, т.е. иметь разную генетическую предрасположенность к селеформированию. Также выделяются разнообразные типы селей (классификация по размеру частиц и минеральному составу метариала, вовлекаемого в поток), которые делятся на наносоводные, грязевые и грязе-каменные) представляющих в основном угрозу для населения, живущего рядом с селеопасными речными долинами.

По генезису для горных и предгорных территорий Кыргызской Республики характерны потоки ливневого, гляциального и от активного снеготаяния, также возможен смешанный тип селеформирования, с наложением сразу нескольких факторов. Селевые потоки гляциального происхождения, с объемом от нескольких сотен до тысяч кубометров в секунду, возникают в долинах с современными ледниками и обширными гляциальными отложениями [34, 35]. Долины, такие как Аксай, Адыгене, Теке-тор, Тезтор и Кейды-Кучкач (расположенные в центральной части Кыргызского хребта) являются примерами мест, где могут формироваться мощные селевые потоки в результате прорывов горных озер или полостей образованных внутри ледников (внутреледниковые резервуары) [23, 27].

Перигляциальные селевые потоки, с объемом от десятков до сотен кубометров в секунду, образуются в долинах на высотах от 2500 до 3200 метров, [32, 33] где имеется много потенциального материала для селевых потоков, включая гляциальные отложения. В этих долинах либо нет современных ледников, либо они представлены небольшими ледниками на склонах или погребенным льдом. Селевые потоки начинаются с вымывания моренных или склоновых отложений, часто во время интенсивного таяния снега, усиленного ливневыми осадками. Примеры таких долин включают Кашка-Суу, Чон-Каинды и Акпай (центральная часть Кыргызского хребта).

Ливневые селевые потоки, с расходом от нескольких кубометров до десятков кубометров в секунду, возникают в долинах на высоте от 1000 до 2500 метров, где нет существенных накоплений ледников или селевого материала. Примеры таких долин включают Муратсай, Карагай-булак, Янткунуш, Тюп, Чолпон-Ата (Тору-Айгыр). В более высоких зонах в периоды активного таяния формируются гляциальные и перигляциальные сели, тогда как ниже 1000 метров горные долины обычно не способны производить селевые потоки [30].

Малые селесборные бассейны с площадью менее 5 км<sup>2</sup>, как показали события последних лет способны формировать мощные селевые потоки.

Селевые очаги в виде оврагов и врезов наиболее продуктивны и насыщают поток селеформирующими отложениям.

На основе фактических данных мониторинга за развитием селевых потоков, которые на постоянной основе проводит Департамент мониторинга прогнозирования чрезвычайных ситуаций при Министерстве чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики (далее ДМПЧС), составлена карта-схема плотности распространения селопасных участков. На Рис.1.4 приведена такая карта, для отображения цветами наиболее подверженных селевым потокам участков (наиболее высокая подверженность и плотность участков отображена красным цветом) использовалась интерполяция. Такой тип карт является динамичным и должен постоянно дополняться новой информацией, соответственно зоны могут увеличиваться.



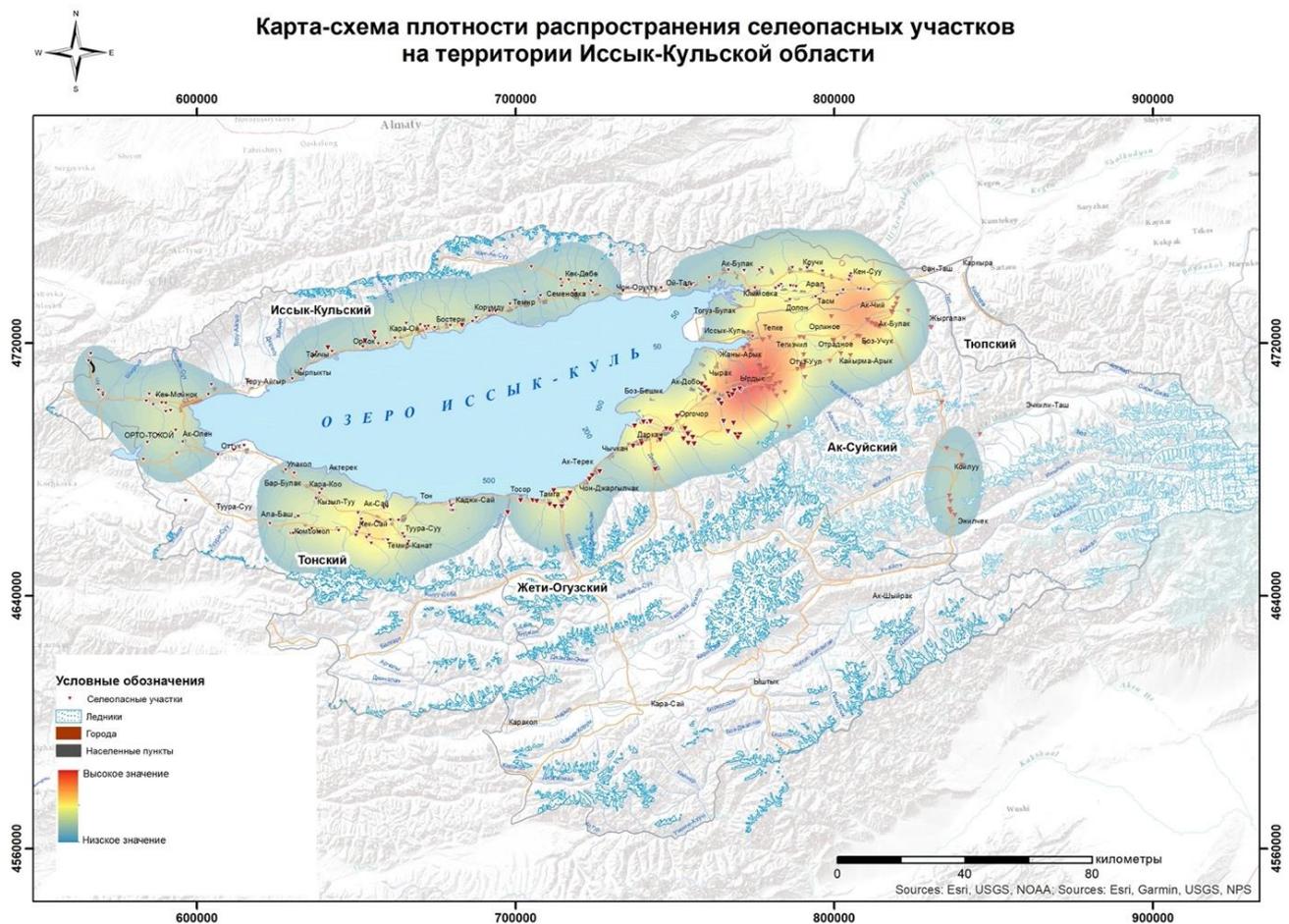


Рис. 1.5. Карта-схема плотности распространения селеопасных участков на территории Иссык-Кульской области Кыргызской Республики

На Рис.1.6 показаны зоны с наибольшей плотностью распространения селевых и паводковых процессов, в основном это конуса выносов, а также прибрежные участки со значительным влиянием русловых процессов по Чуйской области, к наиболее селеактивным долинам относятся: долина реки Сокулук, Ала-Арча, Аламедин, Нооруз и Кегеты. Все долины расположены в центральной части Кыргызского хребта, где наблюдается застройка предгорий а также располагается большое количество зон отдыха и туристических популярных мест.

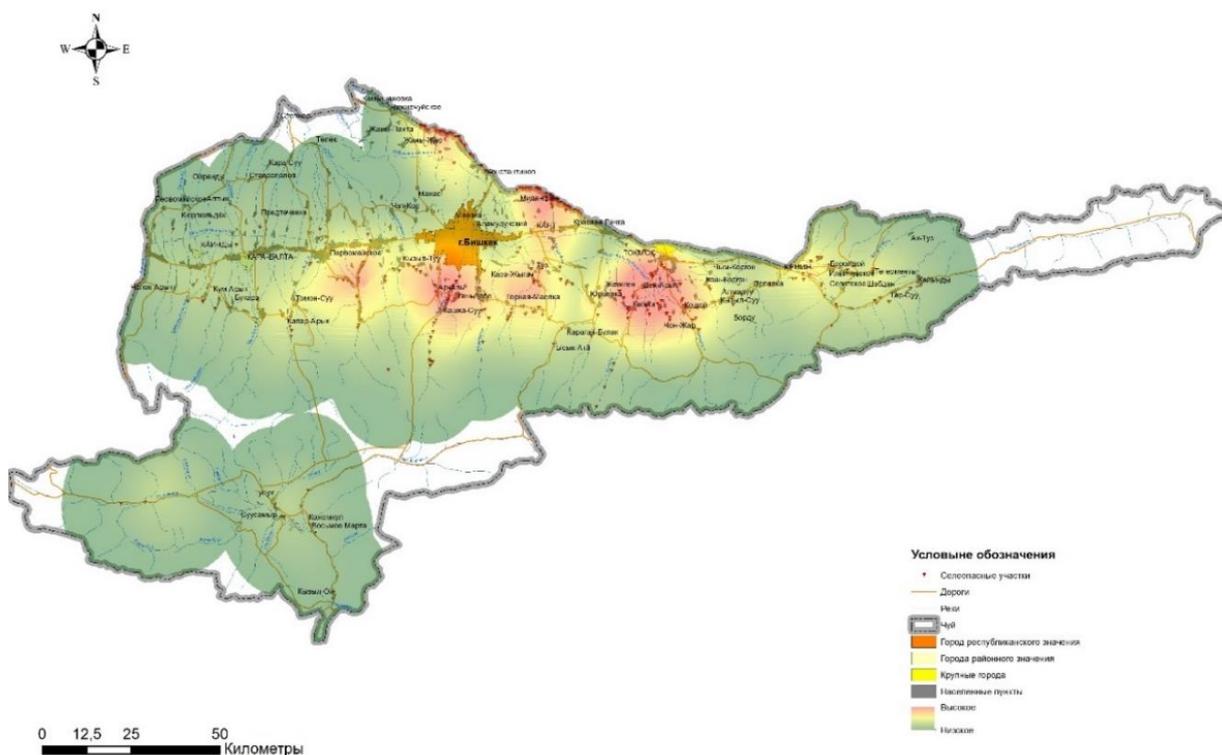


Рис. 1.6. Карта-схема плотности распространения селеоопасных участков на территории Чуйской области Кыргызской Республики

На сегодняшний день остро стоит вопрос по освоению новых территорий, в свою очередь создание и внедрение в практику таких карт представляется одной приоритетных задач системы снижения риска бедствий. Так как можно дифференцировать территории по степени опасности и подверженности разным типам стихийных бедствий.

Одним из важных направлений защиты населения и территорий является развитие систем раннего предупреждения и оповещения. Селевые потоки (Рис. 1.7) наряду с камнепадами и оползнями, относятся к быстро развивающимся опасным природным процессам.

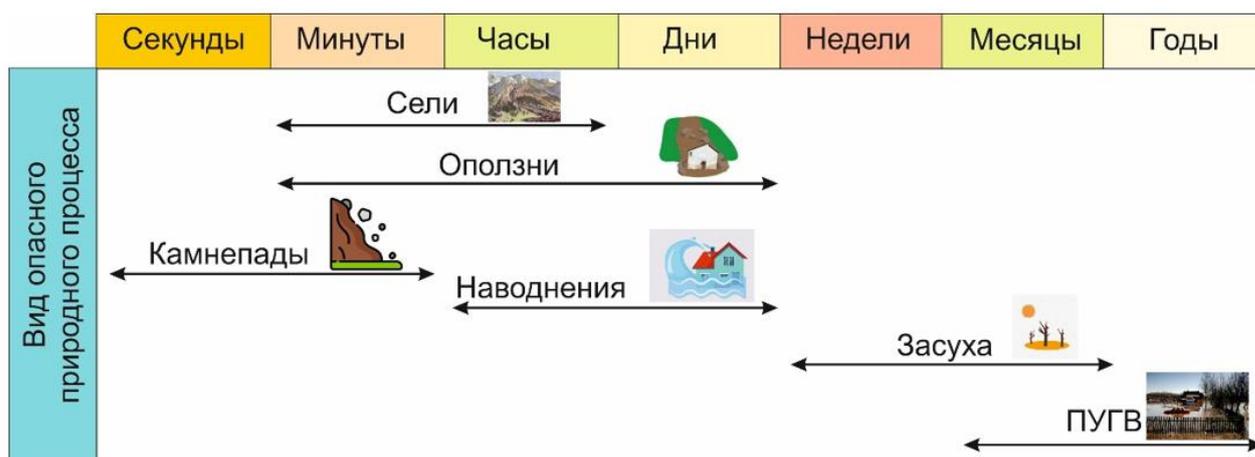


Рис.1.7. Развитие опасных природных процессов

## 1.5. Влияние осадков на селеформирование

Одним из главных параметров изменения климата оказывающим влияние на селеформирование являются осадки, а именно изменение их количества и интенсивности.

Исторические данные о прошлых селевых потоках свидетельствуют о том что, интенсивные ливневые осадки в количестве более 30 мм в предгорьях и низкогорьях горных долин Северного Тянь-Шаня могут формировать селевые и паводковые потоки [55].

Однако приведенные в данной работе данные указывают на то что, для формирования мощных водокаменных селей, достаточно и меньшее количество осадков – 15-20 мм в течение одного часа.

В целом для Кыргызской Республики количество выпадаемых осадков неравномерно и зависит прежде всего от географических условий и подготовленности грунтов к селеформированию. Очень важным как при потоках в Тюпском районе в 2023 году являются периодические осадки выпадающих в долинах генетически предрасположенных к селеформированию.

На Рис.1.8 видно что наибольшее количество осадков выпадает в Баткенской (734) и Джалал-Абадской областях. На эти области приходится наибольшее количество ЧС связанных с селями и паводками по данным МЧС КР (2023 г.). Для анализа изменения осадков использовался портал посвященный изменению климата Всемирного Банка <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/kyrgyz-republic> .

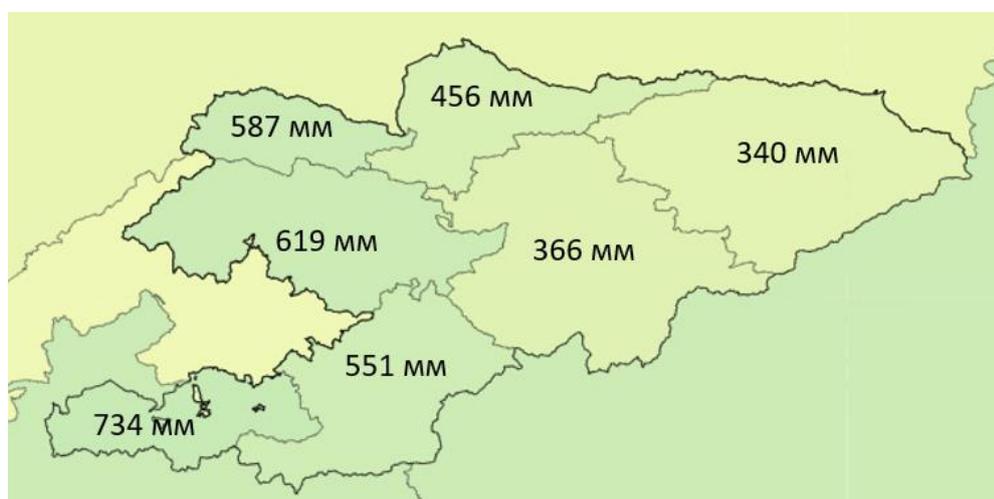


Рис.1.8. Среднее годовое значение осадков на основе данных с 1991 по 2020 гг.

Анализ сезонного изменения осадков показывает, что наибольшие изменения в режиме осадков происходят в летний и зимний сезоны (на основе данных на уровне областей). На Рис.1.9 представлены среднеголетние тренды осадков с 1901 по 2022 года для Кыргызстана, Ыссык-Кульской Чуйской и Таласской областей. И так по всем областям наблюдается небольшой тренд на увеличение количества осадков. Для всех графиков построена пятилетняя сглаженная кривая которая показывает периоды увеличения и снижения осадков. Тренд с 1997 по 2022 год показывает схожие тенденции для Ыссык-Кульской и Чуйской области.

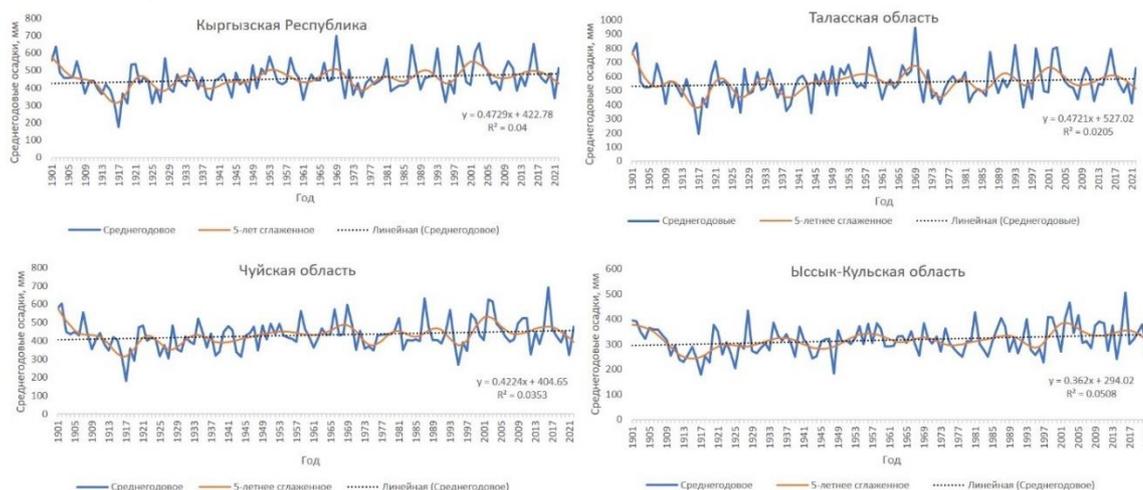


Рис.1.9. Среднегодовое количество осадков для Кыргызстана и всех северных областей

Анализ общего тренда может лишь показать общие тенденции и конечно требует более детального анализа как был сделано для Тюпского района с применением данных дистанционного зондирования.

## Выводы по главе

В рамках данной главы был проведен анализ степени изученности о процессах селеобразования и возникновения паводков в регионе Северного Тянь-Шаня. Помимо специализированных отчетов были изучены картографические материалы позволяющие оценивать селеопасность горных долин Северного Тянь-Шаня. В ходе проведения комплексного обзора была осуществлена оценка различных аспектов формирования селей и паводков на территории Северного Тянь-Шаня. Это исследование обеспечило глубокое понимание характерных особенностей и условий, которые способствуют возникновению данных природных явлений. Выводы по главе свидетельствуют о следующем:

- Селевые потоки гляциального происхождения складываются в долинах, характеризующихся наличием современных ледников и обширных слоев гляциальных отложений.

- В долинах на высотах от 2500 до 3200 метров возникают перигляциальные селевые потоки, где присутствует обильное количество материала, способного к селеобразованию, включая гляциальные отложения.

- Ливневые селевые потоки образуются в долинах с высотным диапазоном от 1000 до 2500 метров, где отсутствуют как современные ледники, так и крупные накопления материалов, способных к селеобразованию, и где малые селе собирающие бассейны не превышают 5 км<sup>2</sup> в площади.

Также следует уделять особое внимание селеоборным бассейнам и их характеристикам, таким как размеры, наличие селевых очагов и селеформирующего материала в долине. Однако более детальное изучение селеоборных бассейнов приводятся в следующих главах.

Подход к картированию территории на основе отображения тепловых зон по плотности распространения селеопасных участков является одним из важных элементов системы мониторинга и прогнозирования, так как позволяет выделять наиболее опасные участки и тем самым позволяет выбирать наиболее приоритетные территории для построения систем раннего предупреждения о селевых и паводковых потоках.

Приведенный в работе анализ позволит также улучшить понимание подверженности и уязвимости в концепции УСРБ по защите населения от действия опасных природных процессов, учитывая какая нехватка и пробелы знаний существуют по данному вопросу как в Кыргызстане так и по Центральной Азии [109-110].

## **ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1. Инженерно-геологические методы оценки селепаводковых процессов и явлений**

Изучение инженерно-геологических условий, в частности селевых и паводковых процессов, является ключевым этапом всестороннего анализа естественной среды района исследований [31]. Осуществление такого изучения позволяет детально оценить степень угрозы селевых потоков для горных долин. Этот анализ включает в себя всестороннее рассмотрение геологии (включая литологию, стратиграфию, тектонику), а также геоморфологических, гидрогеологических и климатических факторов региона, а также оценку

активных геологических процессов, подкрепляемую целенаправленными полевыми исследованиями для определения инженерно-геологических свойств горных пород [73].

Детализированное изучение источников возникновения селей включает замеры уклонов исследуемых участков как непосредственно в полевых условиях, так и через анализ топографических карт. В процессе анализа селевых бассейнов были рассмотрены механизмы формирования и движения селевых потоков, определена структура бассейнов с выделением селевых источников, зон переноса и отложения материала, оценены морфометрические характеристики бассейнов, измерены уклоны русел и ширины долин, причём дополнительные данные были получены с использованием дистанционных методов [29], таких как программа GoogleEarth™, специализированные программные продукты для работы со спутниковыми снимками: SNAP, ENVI, с заранее подготовленными спутниковыми изображениями [79].

В рамках инженерно-геологической оценки было проведено картографирование экзогенных геологических процессов (ЭГП), за исключением случаев, когда перед исследователями стоят специальные задачи, например, картирование селевых потоков.

При составлении специализированных тематических карт и съемке особое внимание было уделено участкам, которые характеризуются особенными геоморфологическими условиями и высокой интенсивностью опасных природных процессов. Анализировались связи между различными формами рельефа и разнообразными типами геологических условий, что позволяло определить наиболее уязвимые зоны. Кроме того, детально изучались особенности геологического строения, гидрогеологические условия и морфометрические параметры местности. Это включало оценку геоморфологических и инженерно-геологических условий [70, 83] и характеристик, селевых конусов выноса рек и береговой эрозии. Все эти данные способствовали созданию более точных и информативных карт, которые могут использоваться для прогнозирования и предотвращения природных катастроф, а также для планирования устойчивого развития территорий. Морфометрические исследования включали профилирование долин по выбранным разрезам.

Для изучения селевых процессов применялся метод дешифрирования актуальных аэрофото- и космических снимков, что позволило получить обзорный образ происходящих экзогенных геологических процессов, выявить их границы, растительный покров, скальные выходы, места насыпей и следы морен, а также ледниковые и снежные поля. При анализе космических изображений использовались разнообразные математические алгоритмы, например, в программном обеспечении ENVI™, что позволило отследить динамику

изменений селевых процессов с течением времени. Комбинации сопряженных аэрофото- и космоснимков также использовались для углубленного анализа исследуемых явлений.

## **2.2. Принцип работы численных моделей для моделирования селевых потоков**

### **2.2.1. Моделирование в RAMMS**

Для уменьшения риска и последствий селевых и паводковых процессов необходимо провести комплексное исследование факторов, способствующих их возникновению. Важным этапом исследования является моделирование селевого процесса, которое позволяет выявить наиболее подверженные опасности участки. Для моделирования используются различные методы, включая профилирование долины, полевые эксперименты, анализ аэрофотоснимков и космоснимков, а также численное и моделирование на основе экспериментов с максимальным приближением к реальным условиям. Моделирование на основе экспериментов представляет собой воспроизведение реальных физических условий, максимально приближенных к естественным. Как результат выводятся эмпирические коэффициенты, которые применяются для адаптации и преобразования математических формул и уравнений, описывающих динамику селевого процесса. Математическое моделирование селевого потока представляет собой упрощенную модель реального процесса. Оно позволяет получить подробную количественную характеристику селевого потока, включая скорость, объем, состав и другие параметры. Однако, математическое моделирование не учитывает все факторы, влияющие на селевой поток, поэтому его результаты могут быть неточными. Для повышения точности моделирования необходимо использовать различные методы, дополняющие друг друга. В данном исследовании мы используем программу RAMMS, которая поддерживает трехмерное дискретное моделирование с использованием метода блоков. Модель основана на уравнении движения граничных блоков и уравнении непрерывности для массовых блоков. Программа RAMMS поддерживает трехмерное моделирование и относится к типу дискретных моделей, использующих метод блоков. В основе модели лежит уравнение движения отдельных граничных блоков, а также уравнение непрерывности, применяемое к массовым блокам [99, 101].

Модели сплошных сред рассматривают движения жидкостей и текучих субстанций, как единые процессы, что находит применение в симуляции природных явлений, таких как сели и оползни. В особенности такие модели хорошо подходят для описания оползней потоков. Эти модели строятся на принципах непрерывности и динамики вязких жидкостей, описываемых уравнениями Навье-Стокса. Эти уравнения, представляющие собой

фундаментальные законы движения жидкостей, могут быть выражены как в явной форме, так и в форме, интегрированной по глубине, известной как уравнение движения Сен-Венана [99]. Это обеспечивает более глубокое понимание и точность в моделировании гидродинамических процессов, возникающих во время этих природных катастроф, помогая в разработке мер предотвращения и минимизации их последствий.

$$\frac{dv_i}{dt} = g_i + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \sigma_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ik}}{\partial x_k} \right) \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкой среды;  $t$  – затраченное время;  $x_i, x_j, x_k$  – координаты положения заданного объема соответственно по осям  $i, j, k$ , касательные напряжения  $\tau$ . Используя формулу Ньютона, получаем следующее выражение (2):

$$\sigma_i = -p + 2\eta \frac{dv_i}{dx_i}, \tau_{ij} = \eta \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

где  $\eta$  – вязкость жидкости;  $p$  – давление, которое оказывает жидкость на объекты;  $v_i, v_j, v_k$  – проекции скорости на осях  $i, j, k$  соответственно. В результате проведенных преобразований методом подстановки, приведенное выше уравнение (1) примет следующий вид:

$$\frac{dv_i}{dt} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_i}{\partial x_i} + \frac{\eta}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_k^2} \right) \quad (3)$$

Если взять систему уравнений (3) для проекций на координатные оси  $i, j, k$  и дополнить ее уравнением неразрывности

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} + \frac{\partial v_j}{\partial x_j} + \frac{\partial v_k}{\partial x_k} = 0 \quad (4)$$

В результате произведенных преобразований, мы получим применяемое для моделирования селей и оползней-потоков уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости Навье-Стокса. Эти уравнения могут быть записаны в двух вариантах: в явном или неявном виде. Интегральная форма уравнений движения Навье-Стокса называется уравнениями Сен-Венана. Для эффективного использования уравнений Навье-Стокса в анализе селевых потоков и поверхностных оползней, крайне важно интегрировать дополнительные функциональные зависимости между касательными напряжениями  $\tau$  и скоростью потока  $v$ . Одной из наиболее широко применяемых является зависимость по Кулону-Вёльми (5), которая активно используется в специализированной программе RAMMS Debris Flow для моделирования таких процессов. Эта зависимость имеет свои корни в науке реологии, изучающей

деформацию и течение материалов. Она позволяет более точно моделировать движение селевых масс и оползней потоков, учитывая их уникальные физические и механические характеристики, что в свою очередь способствует улучшению предсказательных моделей и разработке более эффективных мер предотвращения катастроф.

$$\tau = \rho g H \left( \cos \alpha + \frac{v^2}{gR} \right) (1 - r_u) \operatorname{tg} \phi + \rho g \frac{v^2}{\xi} \quad (5)$$

где  $H$  является высотой потока,  $\alpha$  – рассчитанный уклон (в градусах),  $R$  – гидравлический радиус;  $r_u$  – коэффициент внутреннего давления грунта,  $\phi$  – угол внутреннего трения,  $\xi$  – безразмерный коэффициент турбулентного потока.

Эмпирически были подобраны входные данные модели, выбирая наилучший вариант реализации модели симулирующей селевой поток. Этот выбор был основан на последовательном подборе поправочных коэффициентов и соответствующих параметров. Оценкой достоверности служило соответствие полученных модельных значений скорости, глубины, дальности прохождения и времени движения потока реальным данным. Параметры модели RAMMS различались для разных зон, а именно для верхней части пути грязевого потока и нижней части пути наносоводного потока. Границей между этими зонами послужил бассейн суточного регулирования, расположенный в селе Кашка-Суу, над дачными поселками.

Для достижения максимальной эффективности в моделировании, первостепенной задачей является создание и использование цифровой модели рельефа местности, известной как ЦМР или DEM. Параллельно, критически важно установить точные начальные и граничные условия модели, в том числе пороговые значения, которые точно отражают атрибуты конкретного потока, в определенный момент времени, такие как его начальная скорость и давление, а также их динамические изменения в течение времени на предельных границах модели. Кроме того, важным аспектом в процессе моделирования является тщательный учет и анализ физических характеристик потока, включая такие факторы, как пластичность, вязкость, плотность, коэффициент трения и сжимаемость, что позволяет обеспечить более глубокое и точное понимание динамики потока. В процессе моделирования создаются детальные карты физических параметров, включая скорость, давление, действия сил, глубину потока и многие другие.

В подкатегории непрерывных моделей, в «частности в модели RAMMS, применяется метод Эйлера, особое внимание уделяется наблюдению за изменениями динамических характеристик потока, таких как скорость и давление, внутри определенной системы. В различные временные интервалы через определенные сечения проходит разный объем массы, отличающейся по физическим характеристикам» [114].

Модели относящиеся к такому подтипу, особенно широко используются для анализа движения жидких и вязких потоков, например, паводков, наносоводных, грязекаменных, селевых и оползневых потоков. Эти подходы дают крайне полное описание механики движения массы. Основные параметры меняются и находятся в тесной взаимосвязи друг с другом, скорость, глубина потока, давление и т.д. Это делает их важными инструментами для анализа, моделирования и предсказания путей и поведения природных процессов.

### 2.2.2. Моделирование в HEC-RAS

Программный комплекс HEC-RAS, разработанный в Гидрологическом инженерном центре Корпуса гражданских инженеров армии США в 1995 году, позволяет моделировать речные потоки в одномерном и двумерном пространстве. Программа работает в среде Майкрософт Windows и включает в себя графический интерфейс, компоненты гидравлического анализа, хранение и управление данными, а также графические и отчетные средства [105].

Для построения зон поражения и оценки характеристик потока нами была использована последняя версия программного обеспечения находящаяся в свободном доступе и доступная для скачивания по следующей ссылке: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx> В данной программе были построены профили вдоль русла реки и прилегающей к руслу поверхности при равномерном течении потока. Программа способна обрабатывать данные как для полноценной речной сети, так и для отдельных участков рек, включая учет пропускной способности и наличия мостов. Комплекс предоставляет возможность моделировать водные профили в одномерной перспективе для различных состояний потока - спокойного, быстрого и смешанного.

Программа позволяет проводить моделирование течения потока используя два модуля – установившееся течение и неустановившееся течение, так же доступны 1-D, 2-D моделирование. Так как моделирование проводилось в предгорной и равнинной части с маленькими уклонами то проводилось одномерное моделирование установившегося течения, для различных расходов. Для реки Ала-Арча принятым значением для потока 1% обеспеченности (1 раз в сто лет) принято значение  $80 \text{ м}^3/\text{с}$  [26].

В рамках исследования была разработана математическая модель, последующий этап которой включал её тщательную настройку для минимизации расхождений между расчётными и измеренными данными. Этот процесс, известный как калибровка, подразумевал корректировку параметров модели. Особое внимание уделялось настройке коэффициентов шероховатости русла и поймы, целью которой было достижение соответствия рассчитанных уклонов

водной поверхности при известных расходах воды с наблюдаемыми в реальности.

Для начала калибровки изначально устанавливались стандартные коэффициенты шероховатости, соответствующие типичным значениям для аналогичных русел. Затем проводился расчёт уровней водной поверхности и скоростей течения, которые сравнивались с фактическими измерениями. На основании этого анализа производилась корректировка коэффициентов: в местах, где расчётный уровень воды оказывался выше измеренного, коэффициент уменьшался, и наоборот, увеличивался там, где расчётный уровень был ниже фактического и скорость течения оценивалась как более высокая.

Качество калибровки зависело от объёма и точности данных о натуральных измерениях уровней воды и скорости течения, особенно важными были данные, полученные в различные периоды гидрологического цикла. При этом важно было учитывать условия, при которых проводились измерения, например, половодье или межень. Кроме того, следует отметить, что изменение коэффициента шероховатости, отражающего физические свойства поверхности, ограничено определёнными рамками. В данном исследовании для начальной настройки коэффициентов шероховатости использовались справочные данные.

### **2.2.3. Исходные данные для моделирования селевого потока**

Автором диссертации был проведен анализ данных дистанционного зондирования, гляциологической и гидрометеорологической информации, а также фондовой инженерно-геологической информации имеющейся в его распоряжении для установления исходных данных для моделирования. Анализ исторических прорывов помог установить конкретные характеристики для параметров моделирования.

В процессе работы мы убедились, что сель и паводок, это разные формы горных потоков. Одна форма может легко трансформироваться в другую и обратно в зависимости от строения горной долины и геоморфологических характеристик. Существуют некоторые закономерности в трансформации и обратной трансформации селя в паводок в зависимости от удаления потока от селевого очага. Таким образом селевые потоки тесно связаны с паводками и наоборот. Для жителей горных долин нет большой разницы между паводком и селем. Защищаться необходимо и от того и от другого. Более того, меры защиты почти одни и те же. На предгорные густонаселенные равнины мощные горные потоки выходят в форме паводков (лишь в единичных случаях в форме селевых потоков), но местное население называет их селями. Поэтому в своей работе мы изучаем паводки наряду с селями, рассматривая их как разные формы одного мощного горного потока. Тем более, что прорывы горных озер обуславливают

формирование мощных потоков, которые часто так и остаются в форме паводков, не трансформируясь в селевые потоки.

В прогнозировании времени, места, и мощности селевых потоков главное место занимает изучение области их формирования. Особенно мощные селевые потоки формируются в горных долинах, поэтому при выполнении поставленных перед данной работой задач особое внимание уделялось изучению зон формирования селевых потоков. Для образования селевых потоков необходимы два исходных фактора: 1) гидрологический, 2) геологический. Первый выражается в образовании достаточно мощного водного потока на днище долины (интенсивные ливневые осадки, прорыв высокогорного озера, обильное снеготаяние) второй в наличии условий насыщения водного потока обломочным материалом (твердая составляющая селевого потока). Условия эти заключаются в подготовке селеформирующих отложений (с.ф.о.) на днище и бортах долины и в ее морфологии – уклон долины должен превышать критический для данных геологических условий. Участки долины благоприятные для селеформирования называются селевыми очагами.

В соответствии с положением «Руководства селестоковыми станциями и гидрографическими партиями» (1990) и на основе проведенного анализа были определены основные параметры селевых потоков для разных зон. На основе анализа исторических событий, а также многолетних мониторинговых данных была составлена Таблица 3. Из таблицы следует что для каждой определенной зоны долины реки Ала-Арча определены вероятные селеактивные периоды а также параметры селевых и паводковых потоков.

Таблица 2.1. Характеристики селевых потоков а разных частях долины

Долина реки Ала-Арча	Селевая активность	Зоны формирования селевых потоков	Типы селевых потоков	Мощность селевых потоков, расход, м <sup>3</sup> /сек	Селеактивный период	Пик селевой активности
Верхняя часть	Весьма активные	высокогорная	1) грязекаменные плотностью 1.8-2,2 г/см <sup>3</sup> ; 2) наносоводные плотностью 1.1-1,4г/см <sup>3</sup> .	от 100 до 1000 м <sup>3</sup> /сек	июнь-август	третья декада июля – первая декада августа
Средняя часть	Активные	средне-низкогорная	1) грязевые плотностью 1.4-1,8 г/см <sup>3</sup> ; 2) наносоводные плотностью 1.1-1,4г/см <sup>3</sup> .	10-200 м <sup>3</sup> /сек	май-сентябрь	июнь-июль
Нижняя часть	Активные	предгорная	1) наносоводные плотностью 1.1-1,4г/см <sup>3</sup> ; 2) грязевые плотностью 1.4-1,8г/см <sup>3</sup> .	3-8 м <sup>3</sup> /сек	апрель-июнь	май

## 2.3. Дендро-геоморфологический метод реконструкции палеоселевой активности

### 2.3.1 Геоморфологическое описание и отбор деревьев

Метод дендро-геоморфологии, который используется для выявления последствий, восстановления хронологии селевых потоков и других природных катастроф, является общепризнанным и активно применяется учеными за рубежом, также автор работы применял данный метод для горных долин Кыргызской Республики. Известные исследования M.Stoffel, Schneuwly-Bollschweiler и Koenig-Mayer, проведенные в Альпах Швейцарии и Австрии, а также в испанских Пиренеях и на территории Тянь-Шаня, считаются авторитетными в восстановлении древней истории селевых потоков. Применение этого метода требует наличия леса на изучаемом селевом конусе, так как деревья с их повреждениями служат индикаторами селевой активности. Как примерно подходящее место для изучения были выбраны конуса выносов рек долин рек Ала-Арча, Аламедин и Барскаун. На Рис.2.1 приведен пример выбора травмированного дерева для анализа с примерами травм на спилах корней и стволов.

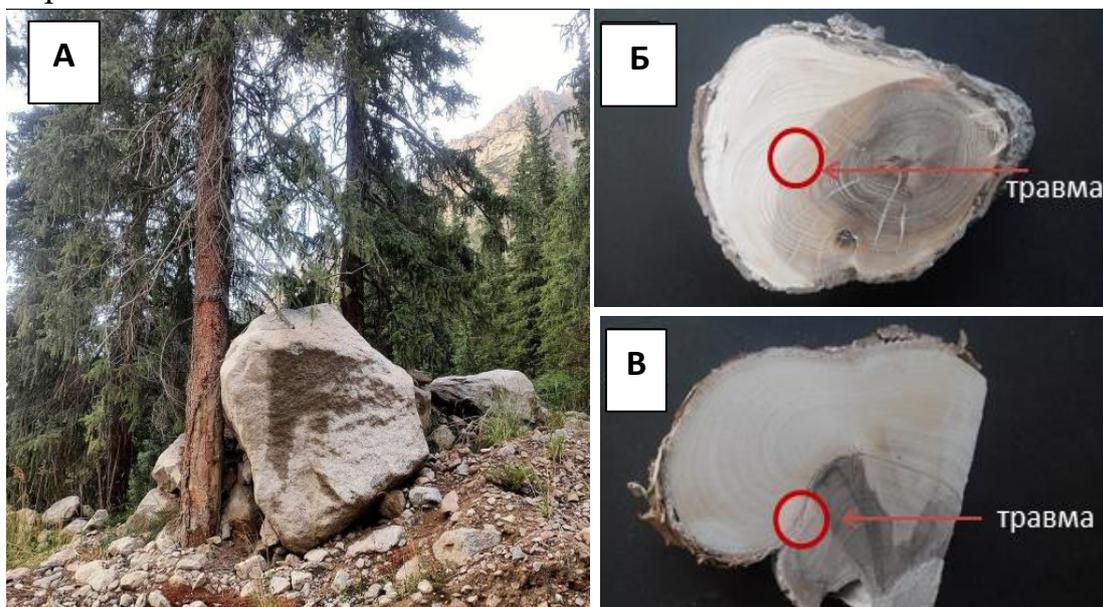


Рис.2.1. А. Пример травмированного дерева в бассейне реки Барскаун (правый боковой приток). Б. Пример спила корня для обнаружения травмы. В. Пример спила *Vetula*

«В ходе полевого исследования керны были отобраны с деревьев, расположенных вблизи селевых валов разной генерации, в основном это были древние селевые русла с единично растущими деревьях, на периферии валов» [93-95]. Каждое дерево осматривалось на наличие видимых повреждений, если

повреждения не просматривались, то использовались косвенные признаки – криво растущие деревья, раздвоенные стволы [92-97]. Отдельно отбирались спилы корней, которые также могли быть повреждены селевыми потоками. Образцы для анализа собирались с помощью ручного бура Suunto с поврежденных деревьев, с которых высверливались радиальные керны древесины диаметром 4-5 мм и длиной от 10 до 50 см. С каждого дерева извлекались несколько кернов для детального описания характера и причин повреждений. Керны брали перпендикулярно к продольной оси ствола на высоте, соответствующей расположению травмы, от 0,5 до 2 метров. Полученные образцы крепили к деревянным рейкам для удобства транспортировки, сушки и хранения до начала лабораторных работ. Каждый образец маркировался и код фиксировался на рейке. В отдельных случаях брали поперечные спилы, особенно если деревья были небольшого диаметра. Во всех случаях отбор деревьев ограничивался областями без видимого влияния человеческой деятельности (например, туристические объекты, дороги, тропы и инфраструктура). Кроме того, мы также брали образцы с неповрежденных деревьев для создания эталонной хронологии с целью датировки и обнаружения аномалий роста поврежденных деревьев.

Сбор образцов проводился в период летних полевых работ с июля по сентябрь. Были отобраны оптимальные места для сбора образцов на конусе, предпочтение отдавалось деревьям у старых селевых каналов и лотков. На изучаемой местности встречались ель обыкновенная (*Picea abies*), береза (*Betula*) и арча (*Juniperus*). Выбирались лесные участки с минимальным человеческим воздействием. В выборе деревьев для сбора образцов приоритет отдавался крупным деревьям с явными признаками нарушений роста и ранами которые деревьям мог нанести пото к, прямым или ударом по касательной.

Для геопривязки всех деревьев на конусах выносов использовался ручной GPS навигатор [98]. Для опорной хронологии, в долине Аксай был выбран участок леса без дополнительного внешнего воздействия, расположенного по левому борту реки Аксай на значительной высоте. На данном участке было отобрано более 30 образцов с целью восстановления по ним хронологии характерной для деревьев растущих в естественной среде. На Рис.2.2. приведен пример с фиксацией мест отбора образцов керна с поврежденных деревьев на конусе выноса Адыгене.



Рис.2.2. Фиксация отобранных образцов древесины на конусе выноса Адыгене

### 2.3.2. Подготовка к анализу

Перед полевыми работами было проведено геоморфологическое и лесное описание выбранных участков и селесборов на основе интерпретации аэро- и спутниковых снимков (1960, 1971, 1978 и 2016 годов). Продольный уклон (градиент) русла ( $\text{м м}^{-1}$ ) для конусов выноса был рассчитан как изменение высоты, деленное на длину конуса; расчеты производились в программном обеспечении ArcGIS® для всех заранее геопривязанных аэро- и спутниковых изображений. Геоморфологические особенности, такие как каменные гряды и валы, дамбы, каналы, были оцифрованы на уровне конусов выноса, тогда как обломочное покрытие и наличие озер были оцифрованы на уровне ледников. Для определения площадей водосборов, а также других геоморфологических описательных характеристик, использовалась цифровая модель высот рельефа с разрешением 12 м (Alos Palsar).

Все собранные точечные данные расположения деревьев взятых для анализа были занесены в программу ArcGIS®.

### 2.3.3. Лабораторный анализ

В ходе лабораторных работ процедуры подготовки и анализа образцов соответствовали протоколу, разработанному Stoffel и Corona в 2014 году. Вначале производился подсчёт годичных колец деревьев, после чего их размеры

определялись с помощью компьютеризированного измерительного стола LINTAB, который был соединён с Leica стереомикроскопом. Для этого использовалось программное обеспечение TSAPWin [Rinntech, 2011], обеспечивающее измерения с точностью до 0,01 мм. Кроме того, выполнялось измерение ширины годичных колец у деревьев, не подвергшихся внешним повреждениям. Полученные данные затем нормализовывались для преобразования в индексы ширины годичных колец. Для визуального кросс-датирования поврежденных серий древесных колец использовались указанные годы [87-89]. Затем мы сосредоточились на обнаружении нарушений роста (NR), вызванных прошлой активностью селевых потоков. NR делились на три разных класса в зависимости от интенсивности и типа реакции [90]: (i) сильные реакции (т.е. травмы, интенсивные тангенциальные ряды травматических смолистых ходов или TRD); (ii) средние реакции (т.е. каллусные ткани, древесина сжатия или резкие изменения роста); и (iii) слабые реакции (т.е. умеренные увеличения роста и/или подавление роста). По возможности [68, 69] TRD использовались для определения сезонности событий. Определение прошлых событий селевых потоков на уровне водосбора базировалось на индексе взвешенного значения (Wit), определенном Kogelnig-Mayer и др. [77], а также на количестве NR (Уравнение 1).

$$W_{it} = ((\sum_{i=1}^n T_i \times 7 + \sum_{i=1}^n T_s \times 5 + \sum_{i=1}^n T_m \times 3 + \sum_{i=1}^n T_w)) \times \frac{\sum_{i=1}^n R_t}{\sum_{i=1}^n A_t} \quad (1)$$

Данный индекс количество нарушений роста (NR) в каждый год и магнитуду нарушений, а также рассчитывает количество деревьев участвующих в реконструкции. Мы определили пороги для идентификации событий в соответствии с предыдущими исследованиями в регионе [Zaginaev и др., 2016]. Кроме того, был проведен визуальный анализ на основе пространственного распределения поврежденных деревьев на конусе выноса с целью обнаружения потенциальных несоответствий (поврежденные деревья сосредоточены на небольшой территории или сильно рассредоточены без образования канального рисунка) в местоположении поврежденных деревьев [78, 84, 85]. В частности, мы использовали  $W_{it} > 1,2$  для определения события;  $1,2 > W_{it} > 0,8$  для потенциального события; и  $W_{it} < 0,8$  для отказа от возможности события.

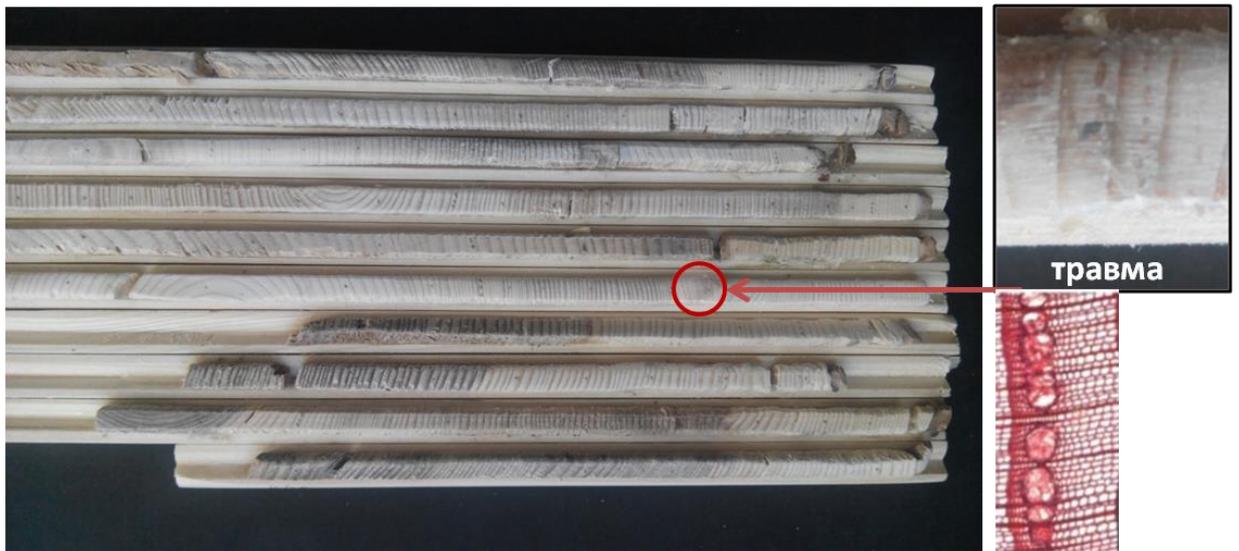


Рис.2.2. Пример проведения анализа кернов под микроскопом

#### 2.3.4. Оценка моренно-ледниковых комплексов и ледников

Мы использовали морфологическую изменчивость моренных комплексов и ледников в качестве объясняющей переменной для интерпретации различной селевой активности селесборов (в основном селевых потоков и внезапных наводнений, вызванных прорывами высокогорных озер и выбросами с ледников). Морфологическая изменчивость комплексов может быть интерпретирована как функция сложного взаимодействия между эрозионной энергией и подачей обломочного материала (и его накоплением вниз по течению) [101]. Фактически, моренный комплекс склонен подавлять активность селевых потоков, поскольку каменные ледники труднее вымываются талыми водами ледника или дождем, что подавляет возникновение селевой активности, так как талая вода ледника течет по внутренним дренажным каналам, чья пропускная способность ограничена [16, 30]. Для анализа этой характеристики мы определили индекс комплекса морен и ледников, который может быть выражен отношением площади ледника, покрытого моренами (M) - отдельное накопление обломочного материала, к открытой части ледника (G) - способность производить талую воду. Мы проверили, связан ли этот показатель с наблюдаемой активностью прорывами высокогорных озер, расшифрованной на основе анализа годовых колец деревьев. Для этого мы провели сравнение в пределах водосбора, проверяя данные на наличие корреляции между соотношением M/G (морена/ледник) и производными геоморфологическими параметрами в качестве объясняющих переменных и селевой активностью для каждого водосбора в качестве объясняемой переменной. Этот анализ был проведен с использованием коэффициента Спирмена, который является одним из наиболее часто используемых индексов в случае малого числа выборок

(Сьерра, 1988). Уровень достоверности был установлен на 0.05 и 0.01 соответственно.

### **Выводы по главе**

Методика исследований динамики селевых потоков, заключалась в инженерно-геологической оценке селеопасности горных долин и дендро-геоморфологическом методе реконструкции палеоселевой активности.

Инженерно-геологическая оценка селевой опасности горных долин включала комплексное исследование территории: геологическое строение (литология, стратиграфия), геоморфологические, гидрогеологические, климатические условия, полевые работы по выявлению особенностей района исследования.

Анализ исторических прорывов помог установить конкретные характеристики для параметров моделирования. Оценка параметров селевых потоков была взята с отчетов по специальным инженерно-геологическим селевым съемкам. Данные параметры являются оценочными, по некоторым имеются расчеты, которые приведены в последующих главах.

Подобраны исходные параметры для проведения моделирования селевого потока с использованием различных подходов: национальная методика, HEC-RAS, RAMMS.

Дендро-геоморфологический метод применялся на селевом конусе выноса в лесной зоне. Для анализа выбирались поврежденные прошлыми потоками деревья, с явными признаками нарушения роста, с которых высверливались специальными бурами керны. Далее, в лабораторных условиях, под микроскопом изучались годовые кольца для датировок повреждений и выявлялись характерные для еловых повреждения смоляных каналов.

Дешифрирование аэрофото и космо - снимков дало представление о том, какие участки селевого конуса были затронуты при прохождении селей в определенные годы и позволило интерпретировать пространственное распределение прошлых событий на селевом конусе и показать схематично, какие части конуса были вовлечены в процесс и пострадали больше всего. По результатам дешифровки отмечались селевые валы, селевые каналы.

Анализ деградации и развития моренно-ледниковых комплексов и ледников, позволил провести оценку как моренно-ледниковые комплексы влияют на селевую активность.

### **ГЛАВА 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ**

Кыргызстан характеризуется значительной уязвимостью к стихийным явлениям, в частности к сельским и паводковым бедствиям. «Статистически, каждый год в стране фиксируется приблизительно 70 экстремальных событий, обусловленных этими явлениями, что представляет собой почти треть всех чрезвычайных происшествий на территории республики» [35,48]. «Большинство населённых пунктов (95%), расположенных вблизи речных берегов или на аллювиальных конусах, регулярно сталкиваются с угрозами, связанными с селями и паводками. Эти природные феномены также представляют серьёзную угрозу для инфраструктуры, включая транспортные пути, сельскохозяйственные земли, а также гидротехнические и ирригационные сооружения» [36].

Территории Кыргызстана находится в зоне потенциального риска селевых потоков. «В стране насчитывается более 3000 рек, подверженных селевым явлениям, с наибольшим их количеством в таких бассейнах, как Чу, насчитывающем 479 рек, по бассейну Талас насчитывается 254 реки, по Нарын выделено 789 селеопасных рек, в бассейне реки Кара-Дарья таких рек - 666 и в районе оз. Иссык-Куль – 375 рек» [48]. Это обуславливает необходимость комплексных мер по предотвращению и минимизации воздействия таких катастроф на жизнь и экономику региона.

По статистике из 10 чрезвычайных ситуаций 4 обусловлены действием селевых потоков и паводков.

Причины формирования селевых потоков: 1) прорывы горных озер и внутриледниковых емкостей; 2) ливневые дожди. Наносоводные потоки формируются только от ливневых дождей. По мере прохождения селя по долине, может несколько раз происходить его трансформация по схеме, водный поток – селевой поток и потом селевой поток – водный (паводок). Вторая трансформация считается обратной и по мере остановки твердой составляющей и потери потоком скорости и плотности, остается только жидкая составляющая, плотность которой близка к плотности воды.

Кыргызстан, из-за своего географического положения, подвержен воздействию различных природных катастроф, среди которых особо выделяются селевые потоки, возникающие в результате прорывов горных озер. Несмотря на то что такие потоки происходят гораздо реже чем потоки вызванные интенсивными ливневыми осадками, они представляют особую угрозу, так часто бывают разрушительны и способны переносить крупные обломки и также причинять ущерб инфраструктуре расположенной во всех частях долины. Особо актуально это становится в последние годы, с учетом развития высокогорного туризма и наращивания инфраструктуры туристического кластера.

В пределах страны находится около 2000 озер, каждое из которых имеет площадь водного зеркала более 0,1 км<sup>2</sup>. Среди них особое внимание заслуживают приблизительно 100 озер с площадью свыше 1 км<sup>2</sup>, которые представляют потенциальный риск формирования селевых потоков [1]. Эти озера являются не только важным природным ресурсом, но и фактором риска, требующим тщательного мониторинга и разработки стратегий для предотвращения возможных катастрофических событий. Таким образом, учёт и анализ геологических и климатических условий, а также принятие необходимых мер безопасности, становятся критически важными для обеспечения защиты и устойчивого развития региона. Из общего числа этих озер в каталог прорывоопасных озер выделено 368 озер (состояние на 2022). Из года в год количество озер может меняться, вследствие прорыва одних и появления других, на месте отступивших ледников.

Паводки это процессы, обуславливающие значительное быстрое увеличение расхода, временного или постоянного, горного руслового водного потока. Плотность паводкового потока приближается к обыкновенному водному потоку, т.е. менее 1100кг/м<sup>3</sup>

Селевой поток – это временный горный поток из смеси воды и рыхлообломочного материала высокой плотности, от 1400 до 2500 кг/м<sup>3</sup>.

Образование селевого потока начинается в форме паводка. Селевой очаг насыщает поток селеформирующим материалом (рыхлообломочные отложения) изменяя его качественные характеристики. Сель и паводок, это совершенно

разные формы горных потоков. Одна форма может легко перейти в другую и обратно в зависимости от строения горной долины. Селевые потоки тесно связаны с паводками и наоборот. Поэтому прогнозирование селевой активности отражает в целом увеличение до катастрофических размеров водности горных и предгорных потоков.

Кроме паводков селевые потоки сопровождаются наносоводными и эрозионными процессами.

Наносоводный поток – это временный горный поток плотностью от 1100 до 1400 кг/м<sup>3</sup> из смеси воды и песчано-глинистого материала с включением более грубых обломков.

По структурному сходству, по соотношению гидродинамических и реологических свойств селевые потоки группируются в следующие типы: 1) наносоводные, 2) грязевые, 3) грязекаменные.

Наносоводные селевые потоки имеют плотность от 1.1 до 1.4 г/см<sup>3</sup>, грязевые от 1.4 до 1.8 г/см<sup>3</sup>, грязекаменные от 1.8 до 2.5 г/см<sup>3</sup>.

На Рис.3.1. приведены места прохождения селевых потоков в пределах горных долин Северного Тянь-Шаня. В приложении 1 к данной работе, приведен каталог исторических селевых потоков которые принесли ущерб населению и территориям.

Недавние исследования показали, что существуют несколько факторов, которые способствуют образованию опасных лавинных склонов. В их число также входят: благоприятный для селевого потока уклон (для многих долин он составит 0.18 - 0.27), наличие в ее верховьях селеформирующих отложений, которые могут быть легко вовлечены в процесс, а также факторы, такие как продолжительные интенсивные ливни или таяние снега. Именно такие условия приводят к формированию потоков, но также может быть сочетание и наложение нескольких факторов. Скорости селей могут достигать 10-12 м/сек, что было неоднократно доказано экспериментами на специализированных полигонах [58].

Очень важным моментом является фиксирование параметров селей во время прохождения потоков. В соседнем Казахстане один из самых разрушительных потоков прошел по реке малая Алматинка в 1928 г. (пострадало более 180 домов), высота селевого потока по данным очевидцев доходила до 5 м [59].

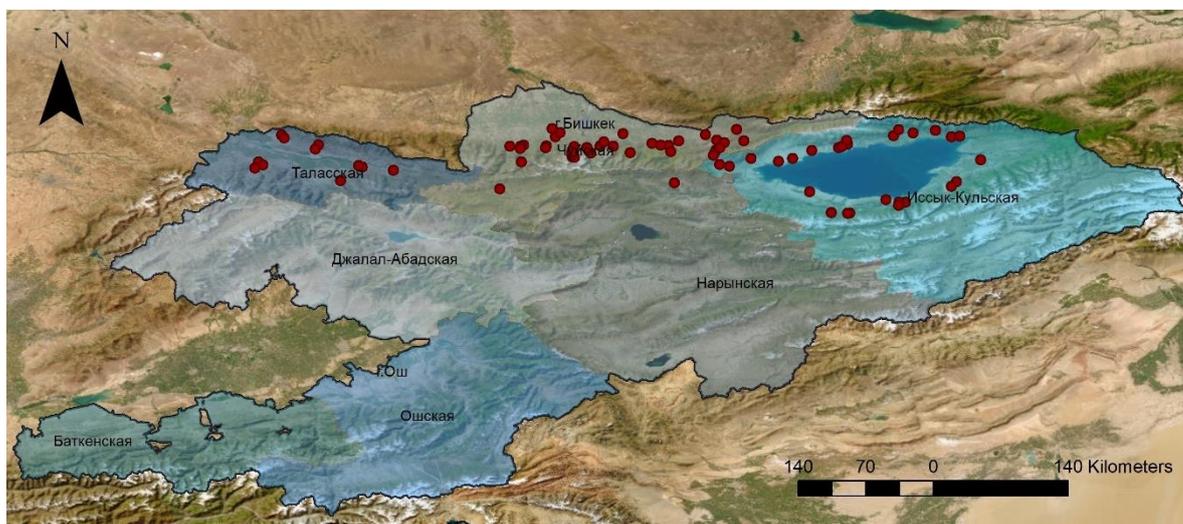


Рис.3.1. Места прохождения селей

### 3.1. Закономерности прохождения селей ливневого происхождения

Для аэровизуальных обследований участков подверженных селевым потокам был использован специализированный картографический дрон - DJI Matrice 300 RTK, оснащенный камерой P1. С помощью этой техники были выявлены участки, на которых селевые потоки выходят из своих истоков и направляются по долинам. На местности проводилось точное измерение максимальных размеров селевого материала, который был перемещен во время потока. Эти данные позволяют более полно понять масштаб и характер селевых явлений в регионе.

Для определения скорости движения селевых потоков использовалась эмпирическая формула Голубцова, разработанная специально для грязевых и наносоводных потоков [58-59]. Эта эмпирическая формула, очень точно описывает взаимосвязь между важными параметрами селевого потока, основными характеристиками влияющими на скорость являются: высота потока и уклон.

$$v = 3.75h_{cp}^{0.5}i^{0.17} \quad (1)$$

где  $h_{cp}$  – средняя глубина потока, м;  $i$  - уклон русла на выделенном участке.

Формула (2), необходима для расчета давления которое поток оказывает на окружающие объекты. В данной формуле присутствует параметр – плотности селя, который указывает на тип потока и его текущие характеристики и способности. Такой подход к анализу данных дает возможность эффективнее планировать меры по предотвращению бедствий и защите населения от них.

$$P = 3.5 \left(1.35 \left(\frac{v_c^2}{g}\right) (\rho_c^{1.5})\right)^{0.45} \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ,  $\rho_c$  – плотность селевой массы,  $\text{кг/м}^3$

Важным параметром, определяющим силу и опасность селевого потока, является его плотность [100]. Плотность селевой массы выступает важным фактором при оценке возможного воздействия потока на окружающую среду и инфраструктуру. Для того чтобы рассчитать эту плотность, необходимо определить предельную объемную концентрацию селевой массы, что осуществляется с помощью специальной формулы [46]. Этот параметр позволяет оценить количество селевого материала, содержащегося в единице объема, что в свою очередь позволяет более точно прогнозировать интенсивность и последствия селевого потока для окружающей среды и жилых районов [67]. Оценка плотности селевого потока является ключевым этапом в подготовке мер по предотвращению и минимизации ущерба от подобных природных явлений [23].

$$S_T = 2.33 \sin \alpha \quad (3)$$

Для определения плотности селевой массы мы применили специальную формулу, предназначенную для расчета плотности наносоводных селевых потоков. Это важный этап исследования, поскольку плотность селевой массы является ключевым показателем при оценке силы и потенциального воздействия селевых потоков на окружающую среду и инфраструктуру. Селевые потоки могут иметь различную плотность в зависимости от различных факторов, таких как состав грунта, скорость потока и многие другие. Диапазон плотности наносоводных селевых потоков, как указывают исследования, обычно колеблется от 1100 до 1800  $\text{кг/м}^3$ . Для нашего расчета мы приняли верхний предел этого диапазона, чтобы учесть возможные наиболее опасные сценарии и обеспечить адекватные меры предосторожности и защиты от возможных негативных последствий селевых явлений.

$$\rho_c = \rho_v + S_T(\rho_T - \rho_v) \quad (4)$$

где  $\rho_T$  и  $\rho_v$ , плотность твердой составляющей и плотность воды.

$$Q = v_c F \quad (5)$$

где  $F$  площадь поперечного сечения русла в зоне разгрузки селевого потока.

Из-за отсутствия надежных метеорологических данных на данном участке мы прибегли к использованию альтернативного источника информации о количестве осадков. Для этого мы обратились к спутниковым данным Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP), доступным через сервис Google Earth Engine. Этот сервис предоставляет данные о осадках с разрешением 0.1x0.1 градуса, что позволяет получать информацию о погодных условиях в реальном времени.

GSMaP является продуктом миссии глобального измерения осадков (GPM), которая предоставляет глобальные данные о выпадении осадков с интервалом в три часа. Эти данные собираются с помощью многодиапазонных пассивных микроволновых и инфракрасных радиометров на борту спутника GPM Core Observatory, а также с использованием информации от других спутников. Алгоритм, используемый для оценки скорости выпадения осадков в GPM, базируется на модели переноса излучения.

Для повышения точности данных о выпавших осадках, показатель осадков корректируется с учетом информации от датчика NOAA/CPC. Это позволяет оптимизировать 24-часовое накопление почасовой нормы осадков GSMaP до дневного уровня с учетом данных от датчика NOAA/CPC. Обработка данных осуществляется алгоритмом GSMaP версии 6, что обеспечивает надежную и точную информацию о выпадающих осадках в рамках данной миссии [79].

### **Место исследования**

Характеристики ландшафта, геологии и водных систем как среднегорных, так и предгорных районов хребта Кунгей Ала-Тоо создают определенные условия, которые способствуют формированию селевых потоков значительного масштаба. Эти уникальные территории, обладающие своими природными особенностями, часто выступают в роли источника обширных селевых потоков, чья интенсивность и распространение напрямую зависят от сочетания локальных географических и климатических условий. Изменения в процессах осадков, активность геологических явлений и гидрологическая динамика региона играют важную роль в механизмах селеформирования.

Климатические особенности в Туюпском районе отличаются от других районов, количеством выпадающих осадков, а также температурными характеристиками. «Зимой, особенно в январе, температурные показатели существенно различаются: в среднем около  $-6^{\circ}\text{C}$  в долинах, в то время как в горных регионах температура опускается до  $-14^{\circ}\text{C}$ » [104]. «Летом, в июле, температурные значения колеблются от  $+18^{\circ}\text{C}$  в низинах до  $+9^{\circ}\text{C}$  в горных местностях. Рекордная температура в этом регионе достигает  $35^{\circ}\text{C}$ , при этом

средние максимальные температуры в долинах часто поднимаются до 30°C, в то время как в горах они редко превышают 15°C» [40].

Что касается осадков, их распределение также зависит от высоты над уровнем моря. «В долинах годовое количество осадков варьируется от 350 до 400 мм, тогда как в горных районах эта цифра увеличивается до 500-600 мм» [4]. «Снежный покров в долинах в среднем достигает 30 см» [50], что также свидетельствует о различиях в климатических условиях между разными частями региона.

Согласно данным [104], площадь ледников в Иссык-Кульском бассейне сократилась на 14% с 40-70-х годов XX века до настоящего времени. В районе исследования ледники отсутствуют.

В период с 31 июля по 13 августа 2023 года в Тюпском районе Иссык-Кульской области произошли селевые потоки, в результате которых были разрушены и затоплены сельскохозяйственные поля, жилые зоны, социальные объекты и инфраструктура нескольких сел. Этим селевым потокам предшествовали интенсивные атмосферные осадки, с периодичностью одно событие в две недели. На Рисунке 3.2 представлена карта прохождения селевых потоков.

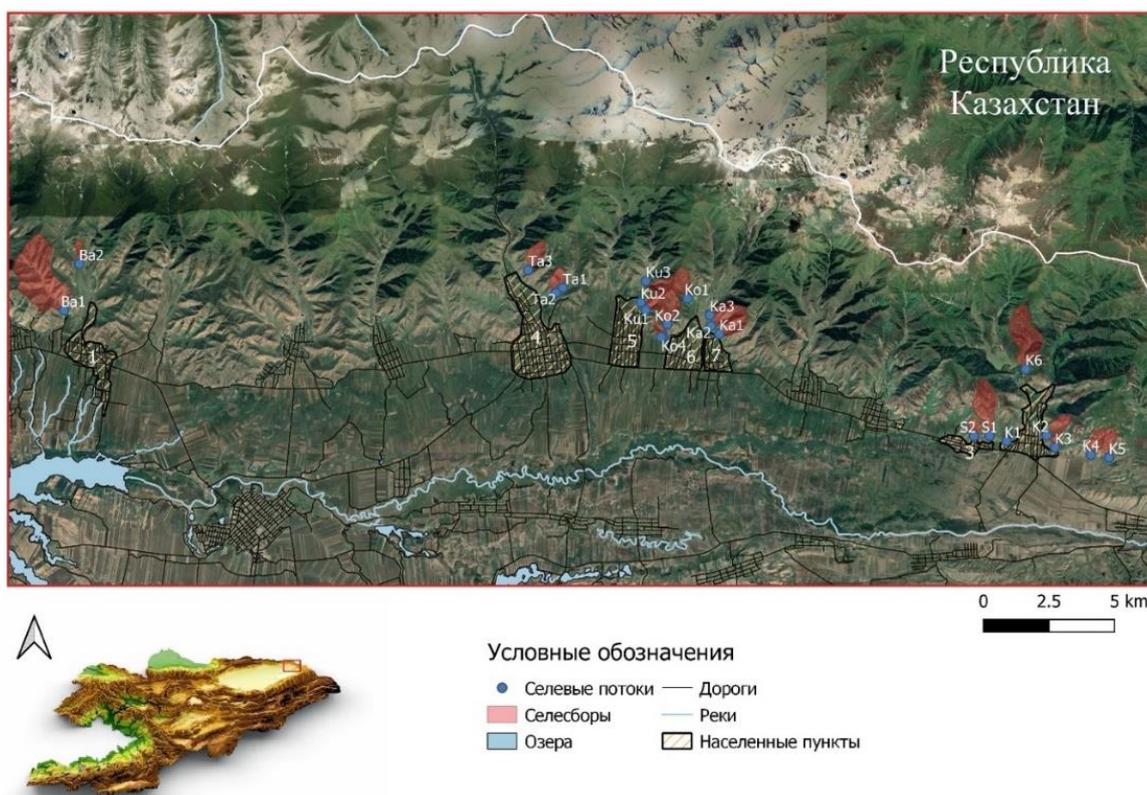


Рис. 3.2. Места прохождения селевых потоков в Тюпском районе Иссык-Кульской области

Источниками селевых потоков часто становятся места обвала рыхлых горных пород, которые характеризуются крутым рельефом и высокими уклонами местности. Все сая по которым прошли селевые потоки характеризуются высокими уклонами и на всем протяжении представляют разбитые рытвинами и канавми селевые очаги. Это, в свою очередь, приводит к увеличению динамических характеристик селевых потоков, делая их более разрушительными и опасными. Таким образом, небольшая протяженность селевых потоков играет существенную роль в повышении их разрушительного потенциала [41].

В Таблице 3.1 представлены характеристики водосборов, из которых произошли селевые потоки, которые отображены на карте, изображенной на Рисунке 3.2.

Таблица 3.1. Зарегистрированные сели в Тюпском районе Иссык-Кульской области

№	Населенный пункт	Дата прохождения селевого потока	Места прохождения селевых потоков
1	Балтай	31 июля 2023 г.	Ba1; Ba2
2	Кен-Сую	2 августа 2023 г.	K1; K2; K3; K4; K5; K6
3	Сан-Таш	2 августа 2023 г.	S1; S2
4	Талдысаю	12 августа 2023 г.	Ta1; Ta2; Ta3
5	Кучи	12 августа 2023 г.	Ku1; Ku2; Ku3
6	Корунды	12 августа 2023 г.	Ko1; Ko2; Ko3; Ko4
7	Кайнар	12 августа 2023 г.	Ka1; Ka2; Ka3

#### **Данные полевых исследований**

Проведено наземное обследование 23 селевых саяв по которым прошли селевые потоки в период с 31 июля по 12 августа 2023 года. Основные геоморфологические характеристики селе сборов приведены в Таблице 3.2.

Таблица 3.2. Характеристики селе сборов

Населенный пункт	Селевые сан	Площадь селе сбора, км <sup>2</sup>	Наивысшая точка селе сбора, м	Устье селе сбора, м	Длина, М	Средний уклон, ‰	Средний уклон $\sin \alpha$	Экспозиция
Балтай	Ва1	3.7	2426	1741	3797	180	0.17	ЮЗ
	Ва2	0.19	2385	2028	1005	350	0.32	Ю
Кен - Сую	К1	0.83	1814	1787	2027	210	0.21	Ю
	К2	0.43	2181	1823	1268	280	0.27	ЮВ
	К3	0.11	1920	1786	590	230	0.22	Ю
	К4	0.42	2191	1815	1714	220	0.21	Ю
	К5	0.42	2140	1878	1128	230	0.22	Ю
	К6	1.83	2591	1940	3144	210	0.21	Ю
Сан - Таш	С1	1.2	2204	1794	1938	210	0.21	Ю
	С2	0.24	1914	1749	712	230	0.22	Ю
Кайнар	Ка1	0.47	2288	1830	1346	340	0.32	ЮВ
	Ка2	0.63	2375	1903	1991	240	0.22	ЮВ
	Ка3	0.2	2162	1907	682	370	0.34	ЮВ
Кучи	Ку1	0.25	2188	1846	892	380	0.36	ЮВ
	Ку2	0.09	2140	1860	642	430	0.39	ЮВ
	Ку3	0.42	2154	1895	491	520	0.46	В
Корунду	Ко1	0.6	2507	1932	1483	370	0.34	ЮЗ
	Ко2	0.73	2015	1815	846	380	0.36	ЮЗ
	Ко3	0.13	2248	1796	1796	250	0.24	ЮЗ
	Ко4	0.04	1974	1774	741	350	0.32	ЮЗ
Талдык - Сую	Та1	0.21	2247	1908	868	390	0.36	ЮЗ
	Та2	0.14	2155	1877	710	390	0.36	ЮЗ
	Та3	0.45	2458	1945	1218	420	0.39	Ю

Из проведенного анализа данных, представленных в Таблице 3.2, видно, что наибольшее количество селей сформировалось в водосборах с южной экспозицией (9), за ними следуют юго-западная (7) и юго-восточная (6) экспозиции. Эти результаты говорят о том, что географическое положение и

экспозиция существенно влияют на формирование селевых потоков в исследуемой области.

При анализе данных были учтены различные параметры, такие как длина водотока и превышение над уровнем моря, которые были рассчитаны на основе составленных водосборных карт. Эти параметры играют важную роль в определении особенностей селевых потоков и их потенциальной опасности для окружающей среды и человеческих населенных пунктов.



Рис. 3.3. Место выхода селевого потока, с.Кайнар (Ka2). (А) Глубина донной эрозии достигала 1.5 м; (Б) Диаметр вовлекаемых обломков достигал 1 метра; (В) Конус выноса селевого материала

Исторические сели зарегистрированные на территории исследования можно разделять на два вида: наносоводные и грязевые. Наносоводные потоки согласно принятой классификации состоят из смеси воды с крупными обломками и камнями, включая валуны и скальные осколки. Эти потоки образуются за счет эрозии почвы и включения в них крупных обломков. На участках с небольшим уклоном такие потоки разгружаются, и по мере движения остается только водная масса (см. Рисунок 3.3. В). Хотя для таких потоков более подходит термин "водокаменные", мы придерживаемся общепринятой классификации. Плотность таких потоков, рассчитанная по формуле 3, колеблется от 1317 до 1447 кг/м<sup>3</sup> и представлена в Таблице 3.

Селевые потоки, протекавшие через следующие боковые долины Ka1, Ka2, Ka3, K1, K3, K4, K5, K6, S1, S2, Ko3, характеризовались высокой скоростью до 4.1 м/с. Ввиду небольшой протяженности водотоков обломочный материал в потоке не успевал изменить свою форму и оставался угловатым и неокатанным,

как видно на Рисунке 3.3. Большое количество воды играло роль связующего элемента. Поток в основном следовал изгибам русла, иногда его разрушая и вовлекая в поток крупные обломки.

Таблица 3.3. Характеристики селевых потоков

Населенный пункт	Селевые сан	Тип селевого потока (анализ фото и видео материалов)	Предельная объемная концентрация твердого материала	Плотность кг/м <sup>3</sup> (3)	Глубина потока, м	Скорость м/с (1)	Давление Па (2)	Расход м <sup>3</sup> /с (4)
Балбай	Ва1	Наносоводный	0.39	1317	1	2.7	454	11
	Ва2	Грязевой	0.74	1596	1	3.1	570	6.2
Кен - Суу	K1	Наносоводный	0.49	1391	1	2.9	487	5.7
	K2	Грязевой	0.63	1503	1	3.0	533	6.0
	K3	Наносоводный	0.51	1410	0.8	2.6	447	4
	K4	Наносоводный	0.49	1391	1.5	3.5	584	15.8
	K5	Наносоводный	0.51	1410	2	4.1	676	25.4
	K6	Наносоводный	0.49	1391	2	4.1	665	26
Сан - Таш	S1	Наносоводный	0.49	1391	1	2.9	486	5.7
	S2	Наносоводный	0.51	1410	0.5	2.0	362	2.0
Кайнар	Ka1	Грязевой	0.74	1596	1.5	3.8	684	17.0
	Ka2	Грязевой	0.51	1410	1.5	3.5	594	21.3
	Ka3	Грязевой	0.79	1634	1.2	3.4	634	12.3
Куочи	Ku1	Грязевой	0.84	1671	0.5	2.2	438	2.2
	Ku2	Грязевой	0.91	1727	0.5	2.3	453	2.2
	Ku3	Грязевой	1.07	1857	0.25	1.6	357	1.2
Корумду	Ko1	Грязевой	0.79	1634	0.5	2.2	427	3.3
	Ko2	Грязевой	0.84	1671	0.5	2.2	438	2.2
	Ko3	Наносоводный	0.56	1447	0.4	1.9	338	1.5
	Ko4	Грязевой	0.74	1596	0.5	2.2	417	2.2
Талды - Суу	Ta1	Грязевой	0.84	1671	0.8	2.8	541	4.5
	Ta2	Грязевой	0.84	1671	0.8	2.8	541	4.5
	Ta3	Грязевой	0.91	1727	0.5	2.2	453	1.1

Данные о расчетном давлении на препятствия показывают, что наносоводные потоки (К5, К6) оказывают давление, сопоставимое по величине с грязевыми потоками (Ка1, Ка3). Это объясняется тем, что основными факторами для расчета давления являются скорость и плотность потока. Геоморфологические особенности, такие как уклон, наличие рытвин и оврагов, влияет на трансформацию поток и его тип.

Для наносоводных потоков характерны высокие скорости, в виду большого уклона, что исходит из анализа данных Таблицы 3.3, и в целом данные значения сопоставимы для некоторых сав с грязевыми потоками.

Эти выводы подчеркивают необходимость глубокого анализа механизмов формирования и движения различных типов селевых потоков для разработки эффективных мер по предотвращению и минимизации потенциального ущерба от таких явлений.

Полученная характеристика давления может быть использована при выборе типа защитного сооружения и выработке дальнейших рекомендаций по защите объектов. Это включает в себя разработку более эффективных систем мониторинга и раннего предупреждения, а также реализацию инженерных решений для стабилизации русел и снижения риска разрушительных последствий селевых потоков.



Рис. 3.4. Последствия прохождения наносоводного потока по с.Талды-Суу, 12 августа 2023 г.

По результатам нашего исследования мы обнаружили еще одну важную разновидность селевых потоков - грязевые потоки. Этот тип потоков встречается в 13 из 23 изученных сав, что свидетельствует о их распространенности в исследуемом регионе. Грязевые потоки отличаются своей специфической структурой, состоящей из воды, а также глинистых и пылеватых частиц, при этом наличие камней в таких потоках не такое значительное. По сравнению с

наносоводными потоками, характеризующимися большим количеством камней и грубого материала, грязевые потоки обладают гораздо более высокой плотностью. Это значит, что они могут быть более плотными и концентрированными, что делает их потенциально опасными.

Согласно данным из нашей таблицы, плотность грязевых потоков колеблется в диапазоне от 1503 до 1827 кг/м<sup>3</sup>, что подтверждает их высокую концентрацию. На Рисунке 3.4 мы можем рассмотреть иллюстрацию этих потоков и оценить их структуру и плотность более наглядно. Эта высокая плотность грязевых потоков может иметь серьезные последствия для окружающей среды и инфраструктуры. Они обладают повышенной вязкостью и способны перемещать большие объемы материала, что увеличивает риск засорения водотоков и систем дренажа. Помимо этого, грязевые потоки могут существенно изменять ландшафт, особенно в уязвимых районах с низкой устойчивостью почвы. Понимание особенностей этих потоков имеет важное значение для разработки стратегий по предотвращению и уменьшению ущерба, наносимого селевыми явлениями.



Рис. 3.5. Основные селеносные саи и селевые потоки прошедшие в селе Куочи

В ходе нашего исследования было отмечено около двадцати селевых потоков, произошедших в небольших по площади селесборах, чья территория не превышает 1 км<sup>2</sup>. Особое внимание привлекли два потока, выделяющихся значительными объемами воды: в долине К5 (площадь селесбора составляет 0.42 км<sup>2</sup>) расход достиг 25.4 м<sup>3</sup>/с, а в К6 (площадь 1.83 км<sup>2</sup>) - 26 м<sup>3</sup>/с. Наибольший из

всех изученных селесборов, Ва1, с площадью 3.7 км<sup>2</sup>, обнаружил поток с расходом 11 м<sup>3</sup>/с.

Также следует обратить внимание на селесборы в долине Кайнар, которые, хоть и небольшие по размерам, но имеют значительные расходы. Например, в Ка2 расход составил 21.3 м<sup>3</sup>/с, в Ка1 - 17 м<sup>3</sup>/с, а в Ка3 - 12.3 м<sup>3</sup>/с. Плотность таких потоков оказалась достаточно высокой, варьируя от 1410 кг/м<sup>3</sup> (Ка1) до 1634 кг/м<sup>3</sup> (Ка3).

Эти данные подчеркивают важность масштаба селесборов и геоморфологических особенностей региона в контексте их воздействия на характеристики селевых потоков. Маленькие селесборы с высокими расходами могут представлять серьезный риск для окружающей среды и инфраструктуры. Понимание этих параметров является ключевым фактором для разработки стратегий по предотвращению и смягчению последствий селевых потоков, особенно в уязвимых регионах.

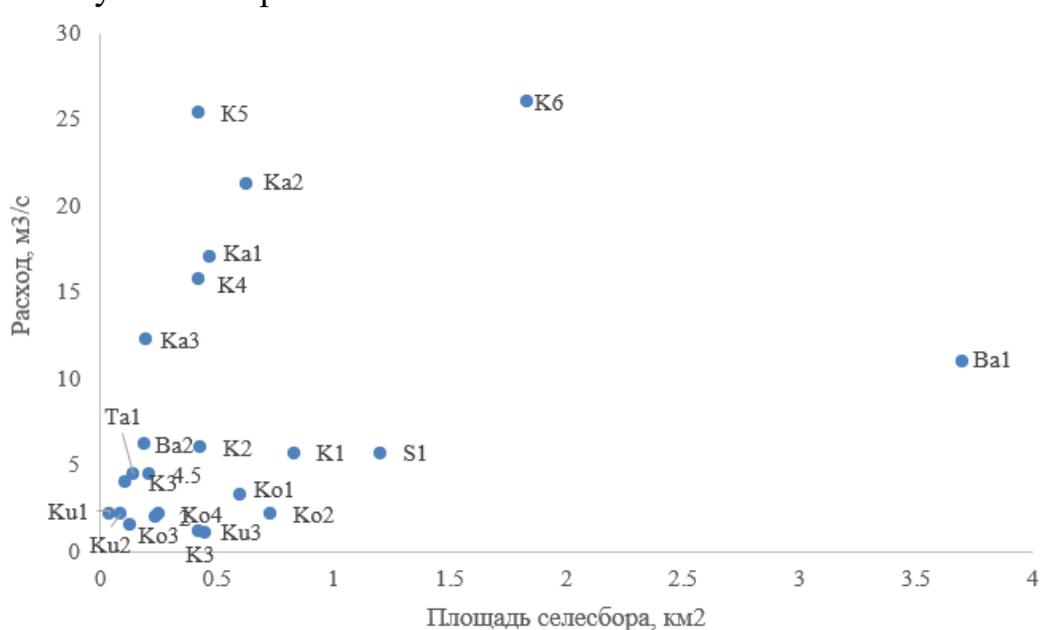


Рис. 3.6. Взаимосвязь расхода и площади селесбора

### Анализ климатических данных

В исследовании использовались данные реанализа о метеорологических параметрах, что позволило получить более точное представление о климатических условиях в рассматриваемом регионе. Эти данные были важным компонентом для анализа условий, способствующих возникновению селевых потоков.

2 августа 2023 года местности, включающие в себя села Кен-Суу и Байзак, подверглись внезапным и обильным ливневым осадкам, которые продержались примерно 30-40 минут. Эти дожди стали инициаторами схода селевых потоков с водосборов, направленных на юг и юго-запад, на склонах среднегорья хребта

Кунгей Ала-Тоо, находящегося в северной части указанных поселений. Впоследствии, 12 августа 2023 года, после еще одной волны сильных ливней, в селах Талды-Суу и Байзак повторно произошли селевые потоки. Похожая ситуация с концентрацией интенсивных ливней была отмечена 31 июля 2023 года в селе Балбай, что подтверждается данными о ежедневных осадках, представленными на Рисунке 3.7.

Кроме того, в исследовании использовались 7-дневные скользящие средние значения осадков, что позволило сгладить краткосрочные колебания и более точно выявить общие тенденции в уровне осадков за неделю. Однако данные реанализа не выявили каких-либо значительных тенденций в периоды селевых потоков, зафиксировав нулевые значения. Это подчеркивает сложность прогнозирования селевых потоков исключительно на основе краткосрочных метеорологических данных и указывает на необходимость комплексного анализа множества факторов для оценки риска селевых явлений.

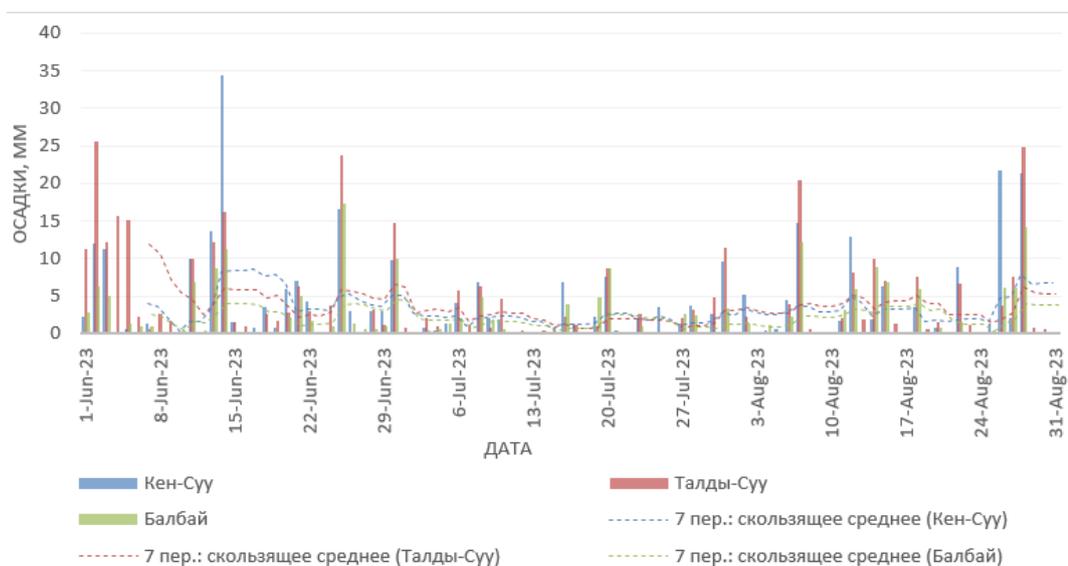


Рис. 3.7. Часовые данные об осадках, спутникового мониторинга GSMaP JAXA [106]

Расположенная в селе Балбай ближайшая метеорологическая станция функционирует как агропост, на котором проводится только ограниченный набор метеорологических наблюдений. Ввиду этого ограничения авторы исследования прибегли к использованию данных спутникового мониторинга для отслеживания осадков.

«Использование спутниковых данных позволяет получить более широкий и всесторонний обзор погодных условий в регионе, особенно в отдаленных или труднодоступных местах, где наземные метеостанции отсутствуют или имеют ограниченные возможности» [29, 103]. Спутниковый мониторинг дает возможность наблюдать за изменениями погоды в реальном времени и с высокой

степенью точности, что критически важно для прогнозирования и предупреждения о природных явлениях, таких как селевые потоки. Кроме того, эти данные могут быть использованы для более глубокого анализа климатических тенденций и погодных аномалий в районе исследования (Северный Тянь-Шань), что повышает эффективность мер по снижению риска и управлению в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

### **Анализ космических снимков**

Для анализа эрозионных процессов, в частности, выявления врезов и оврагов до наступления селевых потоков, исследование опиралось на спутниковые изображения Sentinel-2. Эти снимки были особенно ценны для понимания первоначальных характеристик рельефа, поскольку после событий ландшафт претерпел значительные изменения, что хорошо видно на Рисунке 3.8.

Использование спутниковых изображений позволило исследователям детально изучить особенности территории до селевых потоков, что важно для оценки степени и характера изменений, вызванных этими явлениями. Это также обеспечивает возможность сравнения состояния рельефа до и после катастрофических событий, что помогает понять динамику эрозии и ее влияние на общую стабильность ландшафта. Кроме того, такие данные являются ключевыми для разработки стратегий по предотвращению и контролю эрозионных процессов, а также для планирования мер по восстановлению пострадавших территорий. Спутниковые снимки Sentinel-2, благодаря своей высокой разрешающей способности и частоте обновления, представляют собой ценный инструмент для мониторинга изменений в природных ландшафтах и оценки влияния природных катастроф.



Рис. 3.8. Эрозионные овраги (обозначены красным цветом) на территории исследования

Проведя анализ спутниковых данных, полученных до наступления селевых потоков, исследователи смогли определить ключевые геоморфологические особенности исследуемой территории. В частности, были выявлены долины, в которых располагались эрозионные врезы и овраги. Эти формы рельефа служили дополнительным источником материала для селевых потоков и усиливали процессы донной эрозии, способствуя углублению эрозионных оврагов.

Кроме того, в ходе анализа были идентифицированы долины, в верховьях которых находились каменные шлейфы. Под влиянием атмосферных осадков происходило их вовлечение в селевой процесс, что способствовало активации селевых потоков. Эти результаты подчеркивают важность комбинированного воздействия рельефа и погодных условий в селеформировании.

Космические снимки (Sentinel-2) использовались для анализа геоморфологических характеристик и изменений, данные такого анализа отображены в Таблице 3.4. Такой подход в исследовании помогает лучше оценить потенциальные риски и спланировать эффективные меры по управлению природными рисками.

Таблица 3.4. Наличие эрозионных оврагов и каменных шлейфов

<b>Населенный пункт</b>	<b>Селевые саи</b>	<b>Наличие эрозионных врезов и оврагов</b>	<b>Наличие каменных шлейфов</b>
Балбай	Ba1	3	-
	Ba2	-	+
Кен - Суу	K1	3	+
	K2	2	-
	K3	2	-
	K4	-	-
	K5	2	-
	K6	1	-
Сан - Таш	S1	1	-
	S2	-	-
Кайнар	Ka1	3	-
	Ka2	2	-
	Ka3	-	-
Куочи	Ku1	3	+
	Ku2	2	-
	Ku3	-	-
Корумду	Ko1	1	-
	Ko2	2	-
	Ko3	-	-

	Ко4	-	-
	Та1	2	+
Талды - Суу	Та2	-	+
	Та3	2	-

Важно разработать и внедрить комплексные индикаторы, учитывающие изменения в погодных условиях, геологические и геоморфологические особенности территории, а также данные о предыдущих событиях, чтобы повысить точность и надежность прогнозов. Эти индикаторы должны включать в себя как краткосрочные погодные предсказания, так и долгосрочные климатические модели.

Кроме того, следует пересмотреть и улучшить систему защитных сооружений и мер по управлению рисками. В условиях проводимых в стране земельных реформ и земельной трансформации, важным фактором является строительство новых объектов в безопасных зонах. Проектирование и строительство защитных сооружений должны основываться на расчетах, предполагающих самые негативные сценарии и учитывающих критические показатели, чтобы обеспечить максимальную защиту для населения и инфраструктуры.

В целом, требуется системный подход, включающий мониторинг климатических изменений, обновление научных моделей и методов прогнозирования, а также разработку и реализацию эффективных инженерных и организационных мер. Только так можно будет адекватно реагировать на возрастающие климатические угрозы и минимизировать риски и последствия селевых потоков.

### **3.2. Селевые потоки прорывного генезиса**

Наибольшее количество прорывоопасных озер расположено на следующих хребтах: Кыргызский, Терскей Ала-Тоо и Кунгей Ала-Тоо. В долинах расположенных на этих хребтах были зафиксированы прорывы озер в прошлом. В некоторых долин прорывы были по несколько раз.

На данный момент наименее изученными являются озера расположенные на хребте Кунгей Ала-Тоо, так как большинство ученых и проектов сконцентрированы на Кыргызском хребте и Терскей Ала-Тоо, необходимо изучить развитие озер в этом районе. Учитывая что северный берег стремительно осваивается, особенно в предгорно зоне. Одним и примеров служит место расположения взлетно посадочной полосы международного аэропорта «Ысык-Куль», которое неоднократно было под угрозой из-за действия селевых потоков, в том числе и прорывного характера.

На данный момент (2024 год) реестр прорывоопасных озер Кыргызской Республики насчитывает 370 озер, данный список постоянно пополняется новыми озерами. Все они расположены в высокогорной зоне, но вызванные прорывами селевые потоки могут распространяться по всей длине долин и затрагивать города и населенные пункты. На территории северного Тянь-Шаня, наблюдаются три зоны Центральная часть Кыргызского хребта, южный склон Кунгей Ала-Тоо и северный склон Терской Ала-Тоо, на данных хребтах сконцентрировано более 70 % всех прорывоопасных озер Республики. Все это подчеркивает необходимость особого мониторинга и предпринятия мер предосторожности в этих районах для предотвращения потенциальных катастроф.

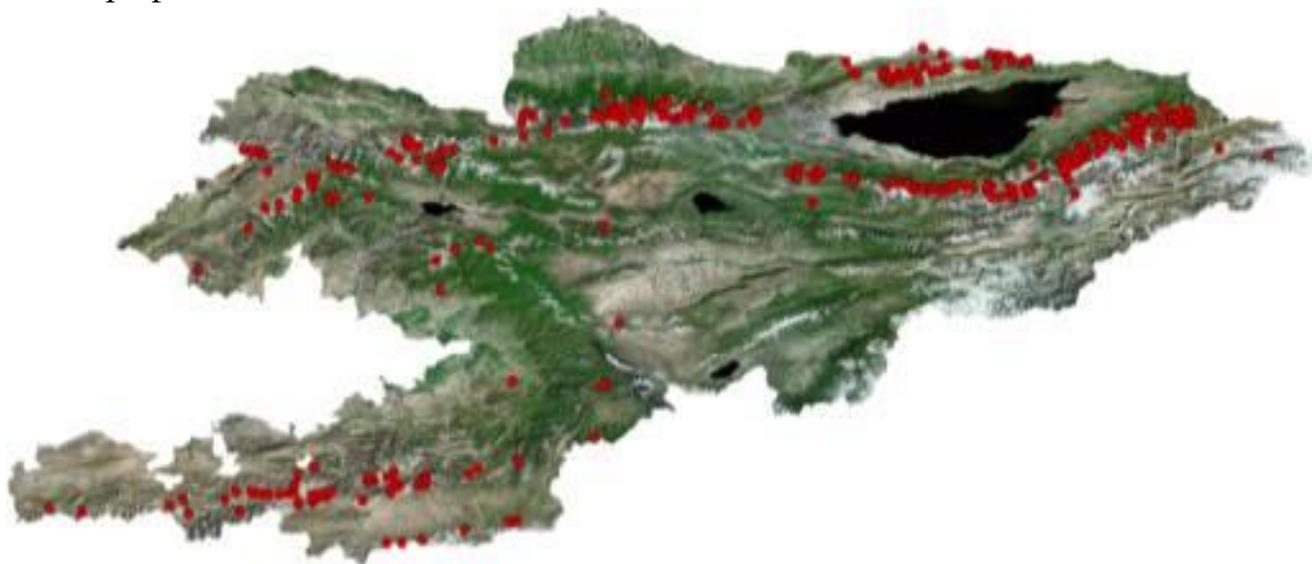


Рис.3.9. Прорывоопасные озера Кыргызской Республики, занесенные в калог прорывоопасных озер

В рамках исследования, проведенного Ерохиным С.А. в ИВП и ГЭ НАН КР, для анализа риска разрушения плотин различных озер была введена система классификации опасности их разрыва. Изначально для оценки риска использовались три уровня (с наивысшим риском - первый уровень).

«Для прорывоопасных озер выделены четыре различные категории прорывоопасности» [24-26], для которых разработаны свои собственные критерии и признаки [24-26]. Так как озера динамичны и развиваются очень быстро, необходимо проводить регулярный мониторинг за их состоянием. Среди универсальных признаков не смотря на то озера можно выделить: просадки на теле плотины озера, появление родников и зон выклинивания на обратной стороне плотины озера, увеличение площади озера, увеличение (нарастание) глубины озера может свидетельствовать о протаивании льда слагающего дно озера. Так же в последние годы разрабатывается параметр – температурный

градиент воды в озере, который может либо нарастать либо уменьшаться по глубине озера. Данный критерий до конца не разработан и проводятся лишь разовые эксперименты на высокогорных озерах Кыргызстана (Загинаев – 2018, озеро Адыгене приледниковое; Загинаев - 2021, озеро Большое Адыгене). Данные последних катастрофических прорывов произошедших на территории КР приведены в нижеследующей таблице 3.5.

Таблица 3.5. Катастрофические прорывы озер Северного Тянь-Шаня

Название озера	Бассейн реки. Горный хребет.	Год прорыва	Расход селевого потока, м <sup>3</sup> /сек	Тип озера
Тезтор	р Адыгене-Алаарча, Кыргызский хребет	1953 2012	250 300	моренно-ледниковое нестационарное
Топкарагай	р. Ала-Арча. Кыргызский хребет	1974 1994	100 150	моренно-ледниковое
Внутриледниковые емкости Аксай	р. Ала-Арча. Кыргызский хребет	1960,1961, 1965, 1966, 1968, 1968, 1969	от 300 до 900	ледниковые
Ангысай	р. Тон. Терской-Алатао	1978	300	моренно-ледниковое нестационарное
Суюктор	р. Джеруй-Аксай-Тон. Терской-Алатао	1985	300	моренно-ледниковое нестационарное
Зындан	Река Тон. Терской Алатао	2008	300	моренно-ледниковое нестационарное
Четынды-Джеруй	Р.Джеруй-Аксай-Тон. Терской Алатао	2013	400	моренно-ледниковое нестационарное

По расположению озер относительно ледника разделяют озера на следующие типы:

*Supraglacier lake* – озеро на леднике; *periglacier lake* – озера имеющие контакт с ледников; *proglacier lake* – озера расположенные на месте отступившего ледника; *extraglacial lake* – озера расположенные на моренах [21].

Генетический подход к формированию прорывоопасных озер [21, 27] позволяет разделить все многообразие прорывоопасных озер на следующие типы: 1) ледниковый; 2) моренно-ледниковый; 3) моренно-ригельный; 4) моренный; 6) завальный

### 3.2.1. Прорыв озера Такыртор

Озеро Такыртор расположено в центральной части Кыргызского хребта (северный склон), на высоте 3500 м. За период развития моренно-ледникового комплекса оно претерпело несколько прорывов в своей истории. Особенно значимыми стали события 4 июня 1992, 2004 и последний из них произошел в

2009 году, когда озеро вновь прорвало, сформировав мощный селевой поток вниз по долине. Географически озеро Такыртор располагается в уникальной моренной депрессии, простирающейся вдоль долины на 800 м. В данной депрессии скапливаются талые воды с ледника (рис.3.10 А,В).

Озеро Такыртор имеет подземный сток по внутреморенным каналам. Чаще всего данные каналы хорошо разработаны что позволяет воде стекать по ним в периоды активного таяния. Однако в некоторые годы открытие этих каналов задерживается, в результате чего талые воды накапливаются в озере (рис.3.10 С). Это накопление воды в короткий период времени, обычно в течение одного-двух месяцев, приводит к значительному повышению давления в ванне озера. В конечном итоге, это давление разрушает естественные преграды и приводит к тому, что вода находит выход, прорываясь через каналы и устремляясь вниз по долине. Эти уникальные процессы требуют особого внимания и изучения, так как они играют важную роль в гидрологии и экосистеме региона.

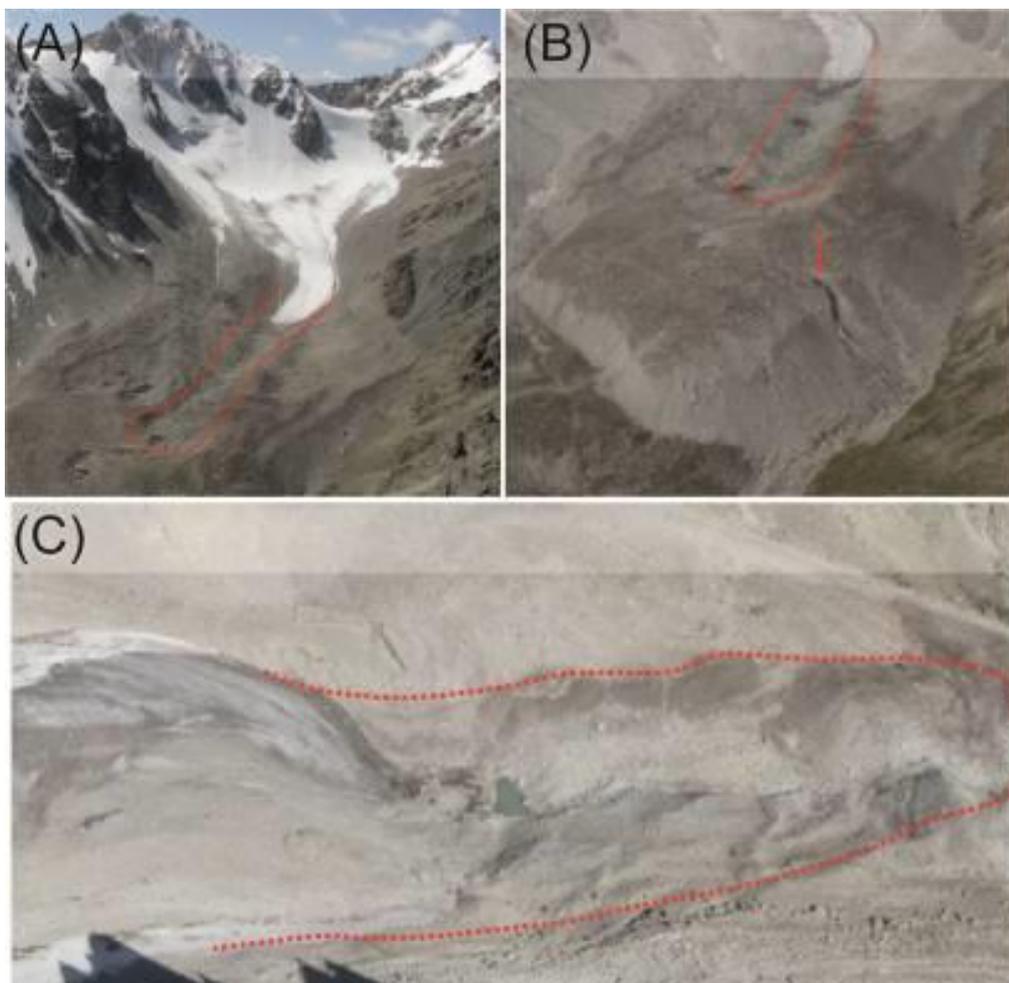


Рис. 3.10. (А) Внутриморенная депрессия и ледник Такыртор (В) Место выклинивания стока на теле морены (С) Вертолетный снимок морены 2010г.

В 2009 году случился очередной масштабный прорыв воды из депрессии, который после дренажа по подземному каналу стока (внутриморенному) преобразовался и сформировал на склоне уступа овраг, заполненный крупными моренными отложениями, в тоже время плохо сцепленными между собой и легко вовлекаемыми в поток. Эти отложения в конечном итоге накопились у входа в овраг, образуя обломочный конус. При прохождении потоком таких участков поток насыщаясь материалом увеличивает расход и скорость.

После прохождения потоком селевого потока его расход увеличился более чем в 10 раз и превышал  $300 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ . Это стихийное бедствие причинило серьезный урон экономике и инфраструктуре местных жителей в долинах рек Такыртор и Нооруз, затронув сельскохозяйственные поля и другие важные объекты, в том числе водораспределительную систему что подчеркнуло важность повышения уровня готовности к таким природным событиям в будущем.

### 3.2.2. Прорыв озера Тезтор

Одним из наиболее типичных нестационарных озер этого подтипа является озеро Тезтор-2 в бассейне реки Ала-Арча на северном склоне Кыргызского хребта (рис. 3.11). За последние 20 лет это озеро наполнялось и прорывалось несколько раз: в 2004, 2012 и 2018 гг. Только в 2012 г. прорывной поток трансформировался в селевой и напугал жителей долины реки Ала-Арча и города Бишкек (рис.3.37). В 2004 и 2018 гг. опорожнение озера прошло без заметных последствий для нижележащих долин Адыгене и Ала-Арча.

В 2012 году озеро прорвало по внутреморенным каналам стока, это был последний катастрофический прорыв озера в данной долине. За данным озером проводился постоянный мониторинг с использованием космических снимков а также аэровизуальных наблюдений (облеты на вертолете с МЧС КР). «В 2012 году за две недели до прорыва был произведен осмотр озера с перевала «Электра», Рис.3.11 (В), по результатам обследования было дано предписание МЧС КР о возможности прорыва данного озера в течение последующих двух декад» [32]. Озеро прорвало 31.07.2012, создав мощный поток который разрушил водопровод коммерческой компании «Келечек» а также снес пешеходные мосты и смыл несколько туристических зон (юрточный лагерь – Ботаника).



Рис. 3.11. Озеро Тезтор-2 перед прорывом в 2012 году

Изначальный расход воды прорывного потока был относительно небольшим и составлял лишь 10-15 кубических метров в секунду. Однако, когда поток достиг селевых зон, мест скопления селеформирующего материала, его расход составлял выше  $300 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$  [30, 103]. После того как поток остановился и разгрузился на конусе выноса Адыгене наслоившись на более древние селевые генерации 3.12 А, вниз устремился грязевой поток. До бассейна декадного регулирования БДР расположенного в начале села Кашка-Суу, дошел поток расходом  $40\text{-}50 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ . Через аварийные сбросы поток устремился вниз через дачные кооперативы. Спустя несколько часов наносоводный поток невысокой плотности, дошел до города Бишкек, потеряв по пути свою силу и мощность. Проходя через город, расход потока не превышал  $30 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ , на Рис. 3.12 С, изображен мост по улице Ахунбаева.



Рис. 3.12 (А) место впадения Тезтор в Ала-Арчу; (В) Центральная часть парка Ала-Арча (после впадения р.Муратсай); (С) Поток в городе Бишкек

Прорывы таких озер, как Тезтор не всегда приводят к катастрофическим прорывам. Спустя несколько лет после начала активного наполнения наступает стадия прорывоопасности. Наблюдение за объемом сохранившимся в озере на следующий сезон (Рис. 3.13) так же может говорить о его степени прорывоопасности и возможности аккумулировать талую воду на следующий сезон.

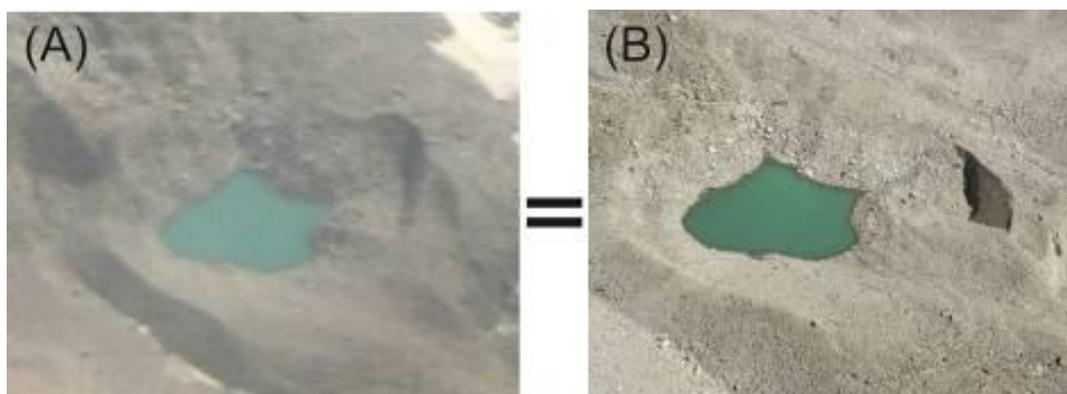


Рис. 3.13. (А) Состояние озера Тезтор за 2010 (В) Состояние озера в 2017

В 2018 году произошел совершенно незаметный прорыв, когда озеро прорывало через небольшие каналы стока в течение нескольких дней. Однако это не говорит о том что невозможны прорывы какие были в прошлом. Конечно в данном процессе также большую роль играет селевой очаг и его мощность, а также накопленный в нем селеформирующий материал.

### 3.2.3. Прорыв озера Челектор

Озера Челектор образовались на поверхности моренно-ледникового комплекса ледника Челектор, подверженного активному действию термокарстовых процессов. Об этом свидетельствует большое количество термокарстовых воронок и депрессий на поверхности комплекса, в трех из которых накапливается вода и формируются озера.



Рис. 3.14. Эволюция озера Челектор по снимкам сделанным с вертолетных облетов

Прорыв озера Челектор произошел 11 августа 2017г, подземный канал стока диагонально пересекал моренно-ледниковый комплекс с правого борта на

левый. Исходя из анализа космических снимков следует что канал стока на своем протяжении от озера до очага выклинивания на дневную поверхность он 4 раза менял свое направление почти на  $90^{\circ}$ .

Непосредственно перед прорывом объем озера составлял 0.4 миллиона кубических метров, что на 30% больше чем год ранее. Прорывной проран находился в средней части депрессии, поэтому произошел только частичный сброс воды Рис. 3.15 А. После прорыва озера Челектор, образовался проран через который и прошел прорыв Рис. 3.15 В. После 2017 года переполнение данного озера не наблюдалось, видимо данный проран и разработанные каналы до сих пор обеспечивают дренаж из озера.



Рис. 3.15 (А) Белой линией отмечена граница наполнения озера после прорыва  
(В) Место грота, через который прорвало озеро

Выходной проран представлял из себя несколько гротов из которых поток из под морены выходил наружу. Интересно то, что как и в случае с прорывом озера Тезтор, заполнялась небольшая депрессия находящаяся на периферии моренно-ледникового комплекса, затем уже из этой небольшой депрессии поток устремлялся вниз по долине трансформируясь в селевой поток высокой плотности.

#### 3.2.4. Прорыв озера Акпай

Высокогорное озеро Акпай, расположено в одноименной долине правого притока бассейна реки Сокулук, установлено следующее. Озеро Акпай моренно-ледникового типа, 1-й категории опасности, расположено в 24 км от с. Тош-Булак, на высоте 3720 м. Площадь зеркала озера 29304 м<sup>2</sup>, с глубиной до 12 м и объемом до 300 000 м<sup>3</sup>. Акпай (Ч-19) является озером моренно-ледникового типа, сформированное в присклоновой моренной депрессии. Дамба озера состоит из грубо-обломочного материала, а также лед-содержащей морены. По анализу

космических снимков, ванна озера была пустой в предыдущие года и в период с мая по июль месяцы 2021 года, ванна высокогорного озера интенсивно наполнялась и на момент обследования, объем озера достиг предельного уровня. Расстояние от озера и до места впадение в реку Сокулук составляет 11,5 км. Средний уклон долины составляет 0,16, перепад высот 1918 метров.

В связи с интенсивным наполнением высокогорного озера Акпай бассейна р. Сокулук Сокулукского района 27.07.2021 г. на основе космоснимков ДМПЧС было рекомендовано УМЧС КР по Чуйской области совместно с органами местного самоуправления организовать постоянное наблюдение за состоянием русла реки Сокулук. 02.08.2021 г. в 5 часов утра произошел прорыв оз. Акпай.

Анализ изменений по космоснимкам рекомендуется производить либо в сезонном разрезе, с июля по сентябрь (Рис. 3.16) или за многолетний период. Пример такого анализа на примере озера Акпай, расположенное в бассейне реки Сокулук приведен на Рисунке 3.16.

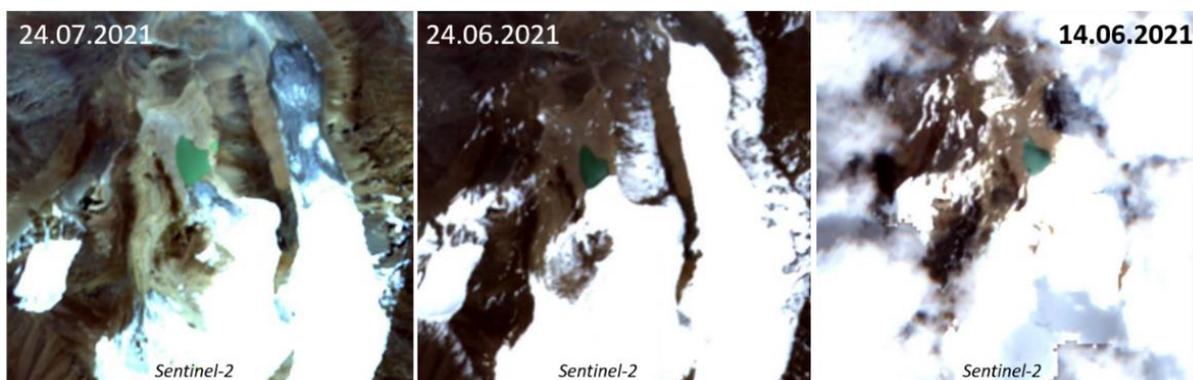


Рис. 3.16 Развитие озера Акпай Ч-19 за 2021 год

### **3.2.5. Селевые процессы в бассейнах рек Тон и Тосор, Ыссык-Кульской области**

На данный момент в долинах реки Тон развивается порядка 20 высокогорных озер которые находятся на разных стадиях развития. Наиболее прорывоопасными (1 и 2 категория прорывоопасности) являются озера: Жеруй (Четынды); Зындан; Четынды (Тосорское) и озеро Тосор (по данным последней оценки проведенной МЧС КР в 2023 году). Прорывоопасные озера на сегодняшний день находятся в различных условиях и степенях наполнения. Наиболее опасными являются нестационарные озера моренно-ледникового типа, имеющие подземные каналы стока, способные заполниться в течение нескольких месяцев и при условиях закупорки подземных каналов стока, возможен вариант внезапного катастрофического прорыва.

Практически каждый крупный сель, в основном это селевые потоки гляциального характера в данном районе при выходе из боковой в главную

долину перекрывает русло главной реки, частично или полностью, завалом, при прорыве которого образуется мощный паводок или наносоводный поток, очень опасный для жителей нижележащей долины. Примером, может быть селевой поток, образовавшийся при прорыве озера Четенды в 2013 г. Данный сель частично перекрыл завалом русло главной реки Джеруй (в бассейне рек Тон-Аксай на северном склоне Терской-Алатоо). После прорыва завала по реке Джеруй пошел мощный паводок, угрожающий затоплением селу Жеруй. Результат моделирования по наихудшему сценарию показывает место перекрытия основного русла реки и образования временной запруды. Озеро Четынды Джеруйское расположено на высоте 3600 м и относится к нестационарным озерам моренно ледникового типа. Расход потока 2013 года показал 400 м<sup>3</sup>/с (Таблица 3.5). Селевой поток нанес значительные повреждения инфраструктуре.

### **3.3. Оценка опасности селевого поражения автодороги в долине реки Барскаун**

Автотрасса в долине реки Барскаун является стратегическим объектом и находится под особым контролем со стороны дорожных служб, а также служб обслуживающих деятельность рудника Кумтор. Учитывая важность данного транспортного объекта и то что от простоя данной трассы зависит деятельность рудника, необходимо иметь представление о селевых процессах и связанных с этим угрозах для трассы. Вовремя построенная система защиты позволит избежать многомиллионный ущерб и снизит риск экологической катастрофы.

Результаты изучения опасных участков вдоль трассы в долине и на перевале Барскаун позволяют нам разделить возникающие там селевые потоки на два основных типа по их характеру происхождения:

1. Потоки ливневого генезиса, которые возникают на участке дороги от 19 до 27 км, возникающие после интенсивных продолжительных осадков. Выявлены ряд наиболее опасных селесборов, однако их мощность сложно оценить не имея достоверную статистику о частоте прохождения потоков и их магнитуде (рисунок 3.16).

2. Сели гляциального происхождения, образуются в периоды активного таяния ледников в результате прорывов из внутреледниковых емкостей. В основном таким потокам подвержены участки дороги от 37 до 43 км, на высотах выше 3000 метра над уровнем моря, на участках когда дорога проходит в непосредственной близости к зоне ледников. Как и на предыдущем участке, выделено 9 селесборов с гляциальными селевыми потоками (рисунок 3.17).

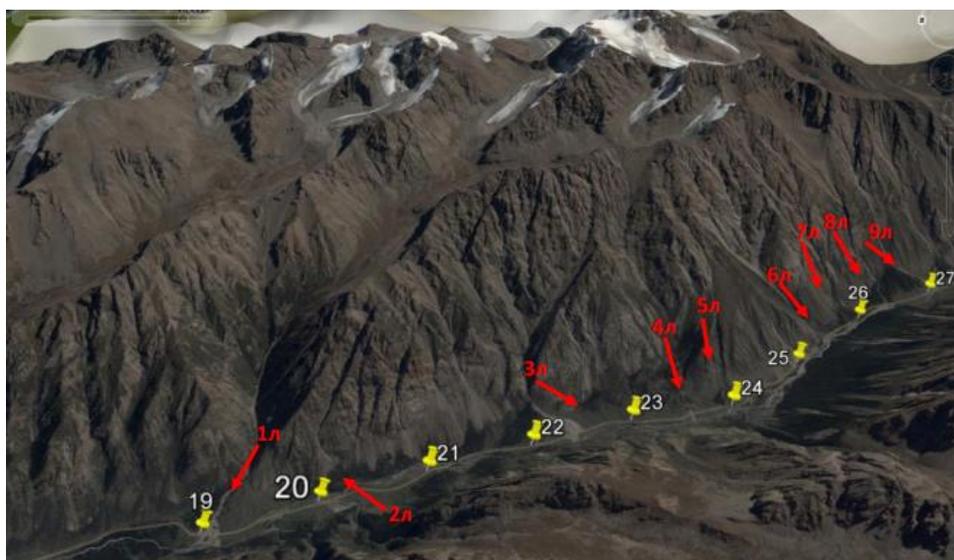


Рис.3.16. Красными стрелками показаны места выхода селевых потоков  
ливневого генезиса

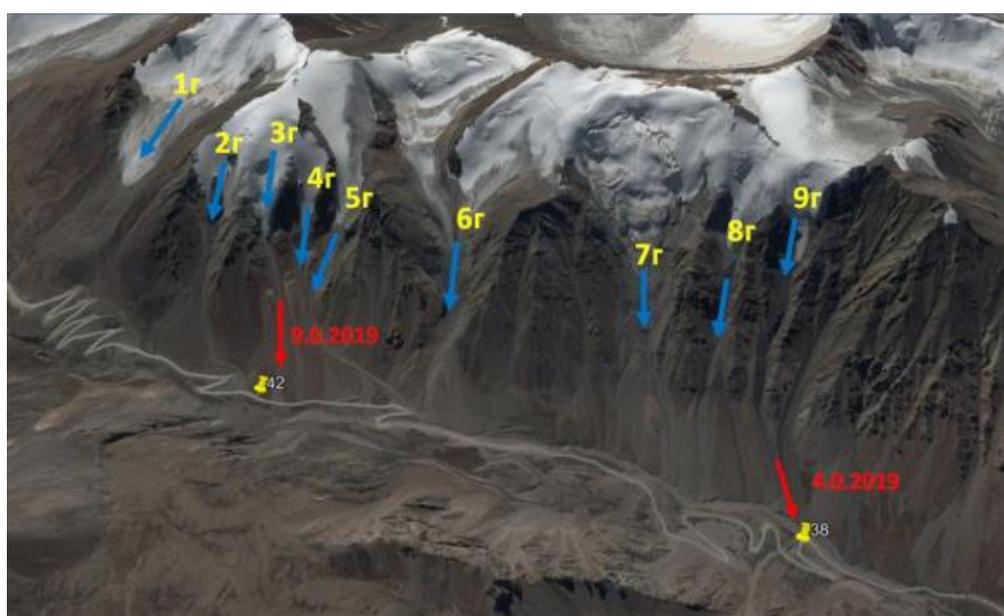


Рис.3.17. Синими стрелками показаны места выхода селевых потоков  
гляциального генезиса

Степень селевой опасности каждого селесобора зависит, в основном от двух очень важных критериев. Это наличие в составе селесоборного бассейна: 1) селевого или эрозионного очага, в котором поток насыщается рыхлообломочным материалом (рис.3.18); «Длина селевого очага и сам очаг выделяются в результате дешифровки аэрофотоснимков и спутниковых изображений, уточнение может быть произведено по результатам полевых исследований, а также с использованием БПЛА» [29]. В ходе данного исследования автором были неоднократно обследованы с помощью беспилотников селевые долины района исследований. 2) возможность аккумуляции атмосферных осадков и талых вод возможностью их прорыва. Еще одним немаловажным параметром при оценке селевой опасности селесобора является его площадь. От её размера зависит

наличие и величина поверхностного стока из селесбора. По расходу ручья, вытекающего из селесбора, можно судить о его площади. Так например река Дунгуромо (рис.3.18) при площади около 38 км<sup>2</sup> имеет расход в июне в зависимости от снежности года и количества весенних дождей 0,6-0.8м<sup>3</sup>/сек. При обследованиях данного расход реки Дунгуромо составил всего 75л/сек. Из этого следует вывод в двух вариантах, либо задерживается таяние зимних снегов из-за низких июньских температур, либо происходит задержка и накопление воды, что весьма опасно, так как почти каждое быстрое накопление воды заканчивается её прорывом, часто с катастрофическими последствиями. Какой вариант вывода окажется правильным покажет последующий мониторинг.



Рис. 3.18. Селевые очаги отмечены линиями в селесборах 6-9



Рис.3.19. Долина Дунгуромо относится к категории опасных селевых долин

Для тщательной оценки селесбора, в исследовании были выявлены и подробно рассмотрены три основных параметра, представленные в таблице 4. Первый параметр обозначает наличие селевого очага, то есть места, где могут инициироваться селевые потоки из-за уникальных геологических и геоморфологических условий. Второй важный аспект касается условий, способствующих аккумуляции воды. Этот параметр включает в себя такие факторы, как характеристики ландшафта, климатические особенности и гидрологические процессы, которые могут привести к образованию значительных объемов воды. Третий параметр связан с наличием поверхностных водотоков, что подразумевает возможность формирования потоков на поверхности земли, что может усугубить или ускорить процесс селесбора. Эти параметры совместно предоставляют комплексное понимание процессов, способствующих возникновению и развитию селевых потоков, как это подробно изложено в таблице 4.

Таблица 3.6. Характеристики селесборов

Номер селесбора	Наличие в селесборе			Категория опасности селесбора
	селевого очага	условий для накопления воды	поверхностного водотока	
1	-	-	+	2
2	-	-	+	2
3	-	-	+	2
4	-	-	-	3
5	-	-	-	3
6	+	-	-	2
7	+	-	-	2
8	+	+	+	1
9	+	-	-	2
лавиносбор №4	-	+	+	1
Дунгуромо	+	+	+	1

Все селесборы можно разделить на участки разной степени опасности так как они угрожают дороге в разной степени.

Участки селесборов первой категории, такие как селесбор №8, Дунгуромо, представляют собой значительную опасность. Эти участки не только угрожают блокировкой автомобильных дорог, но и могут нанести серьезный ущерб транспортным средствам, проезжающим в этой опасной зоне. Особенно рискованной является ситуация, когда селевые потоки засыпают дорогу обломками, создавая препятствия для движения.

В отношении участков селесборов второй категории, наиболее высокий риск существует для транспортных средств на участках на которых конус выноса пересекает дорожное полотно. В таких местах селевой поток может разгрузить на проезжую часть большое количество обломочного материала, что приведет к засыпанию дороги камнями и глыбами. Для транспортных средств, попавших в зону действия потока, единственным спасением является немедленный выезд из зоны поражения. Не сделав этого, водитель и пассажиры автомобиля могут столкнуться с катастрофическими последствиями. Такая опасность возможна при пересечении автодороги с конусами выноса селесборов 2, 6, 7 и 9.

Третья категория (селесбор №5), поток может частично занести полотно автомобильной дороги и возможно его последующее разрушение за счет эрозии. Формирование селевых потоков на селеопасных участках автодороги Барскаун-Кумтор в июне и первой декаде июля маловероятно.

Селевая угроза исходит также от селесборов второй категории, которые пересекаются автодорогой в головных частях их устьевых конусов выноса. Это селесборы №2, 6, 7, 9.

При пересечении автодорогой перефирийных частей конусов выноса из селесборов 2-ой категории, 1, 3, 4, а также селесборов 3-ей категории №5 автотранспорт подвергается значительно меньшей опасности, так как селевые

потоки на этих участках могут задержать движение автомашин, но не разрушить их.

Опасность селевых потоков на рассматриваемом участке является следствием особенностей ледника в районе 4-го лавиносбора. На этом леднике существуют специфические полости, в которых может скапливаться талая вода. Выбросы с таких емкостей могут привести к селеформированию. Примером такого события может служить прорыв из внутреледниковой емкости, произошедший 27 августа 2018 года, на дороге через перевал Барскоон. В результате чего, ниже по долине образовался мощный сель, который временно перекрыл дорогу и образовал временную запруду, частично перекрыв реку Барскоон.

Селевой поток, образовавшийся после прорыва, был настолько мощным, что способен был трансформировать ландшафт в долине. Он нанес серьезный урон инфраструктуре, завалив автомобильную дорогу грубообломочным материалом на значительном протяжении около 100 метров, на участке между 41,9 и 42 километрами. Это событие является ярким примером того, как природные явления, такие как прорыв талых вод на леднике, могут вызывать экстремальные и опасные ситуации, оказывая непредсказуемое влияние на окружающую среду и человеческую деятельность.



Рис.3.20. При очередном обследовании 26 июля 2019 было выявлено отсутствие стока талых вод с ледника 4-го лавиносбора



Рис.3.21. В руслах водотоков, стекающих с ледников лавиносборов №5 и №6, течет вода.

В русле ледника 4-го лавиносбора воды нет

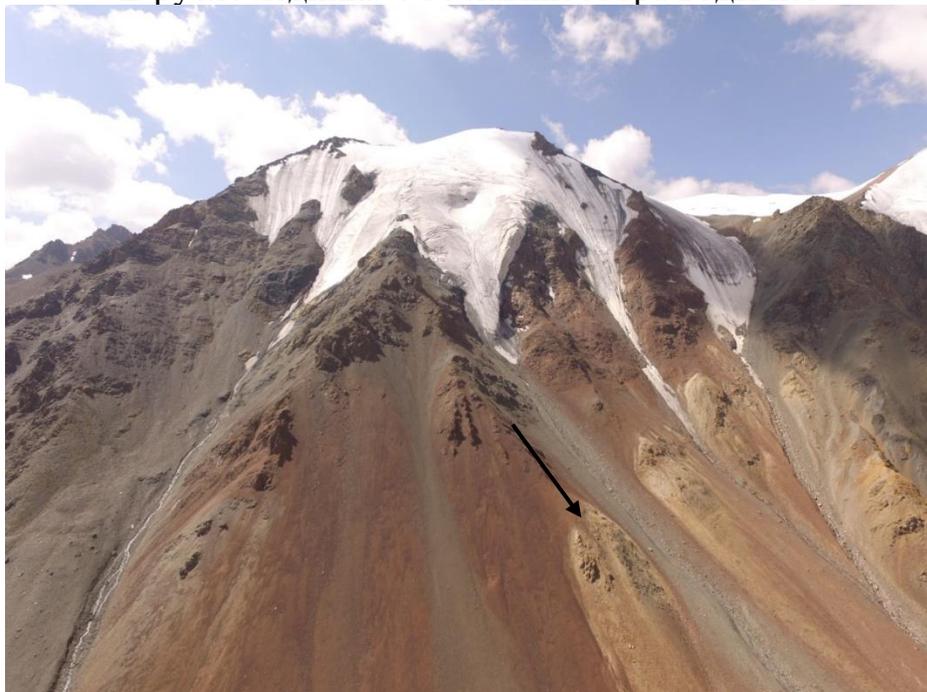


Рис.3.22. Площадь соседних ледников на лавиносборах №3, №5 и №6 и их объем значительно меньше, чем у ледника лавиносбора №4



Рис.3.24. Ледниковый грот лавиносбора №4

На примере других ледников расположенных вблизи перевала Барскоон установлено, что прорывы талой воды, заполнившей внутриледниковые емкости, обычно происходят катастрофически быстро с большими расходами прорывных потоков. Поэтому правомерно утверждать, что скопления воды в теле ледника 4-го лавиносбора является предпосылкой образования нового селевого потока. Наиболее вероятным временем его проявления будет период максимального таяния ледников, в первой половине августа. Селевой поток, двигаясь уже по разработанному ранее селевому лотку (рис.3.25), пересечет автодорогу и завалит на протяжении её примерно 100м. Граница зоны селевого поражения, после уточнений при последнем обследовании, проходит в интервале 41,9 – 42км автодороги.



Рис.3.25. Селевой поток, двигаясь уже по разработанному ранее селевому лотку пересечет автодорогу и завалит на протяжении её примерно 100м.

Селевая опасность лавиносбора №1 обусловлена возможностью образования в этой долине большого потока воды, способного трансформироваться в селевой поток. При последнем обследовании долины лавиносбора №1 было установлено, что в верховьях долины, у подножия её правого борта находится очаг выклинивания подземных вод (рис.3.26). Расход, выходящего из очага водотока, составляет около 100л/сек (замер проведен гидрометрической вертушкой). Минерализация воды около 60мг/л (определение проведено на месте) показывает её ледниковый генезис. Почти такую же минерализацию имеет вода в моренно-ледниковом озере, расположенном западнее перевала Барскаун (рис.3.27). Озеро получило название Перевальное. Вода из этого озера по подземным каналам стока выходит к подножию правого борта долины лавиносбора №1, где выклинивается на поверхность (рис.3.26).

Режим стока из озера зависит от пропускной способности подземных каналов стока. Не исключена их закупорка. В этом случае объем воды в озере будет увеличиваться. Соответственно будет возрастать давление в каналах стока. Когда оно превысит критическое значение, произойдет раскупорка каналов стока и прорыв озера. Прорывы моренно-ледниковых озер подземным путем явление весьма распространенное. В настоящее время уровень воды в Перевальном озере значительно ниже максимального. Вдоль берега прослеживается белая полоса налета озерной глины, обозначающая более

высокий уровень наполнения озера (рис.3.28). Наполнение озера протекает пока в спокойном режиме при хорошо работающих каналах подземного стока. Опасности его прорыва в этих условиях нет. Высока вероятность, что режим спокойного наполнения озера, без резких увеличений его объема, сохранится и в августе 2019 г. Для подтверждения этого вывода мониторинг развития озера и его стока, будет продолжен до середины сентября.



Рис.3.26. Очаг выклинивания на поверхность подземных каналов стока воды из Перевального озера

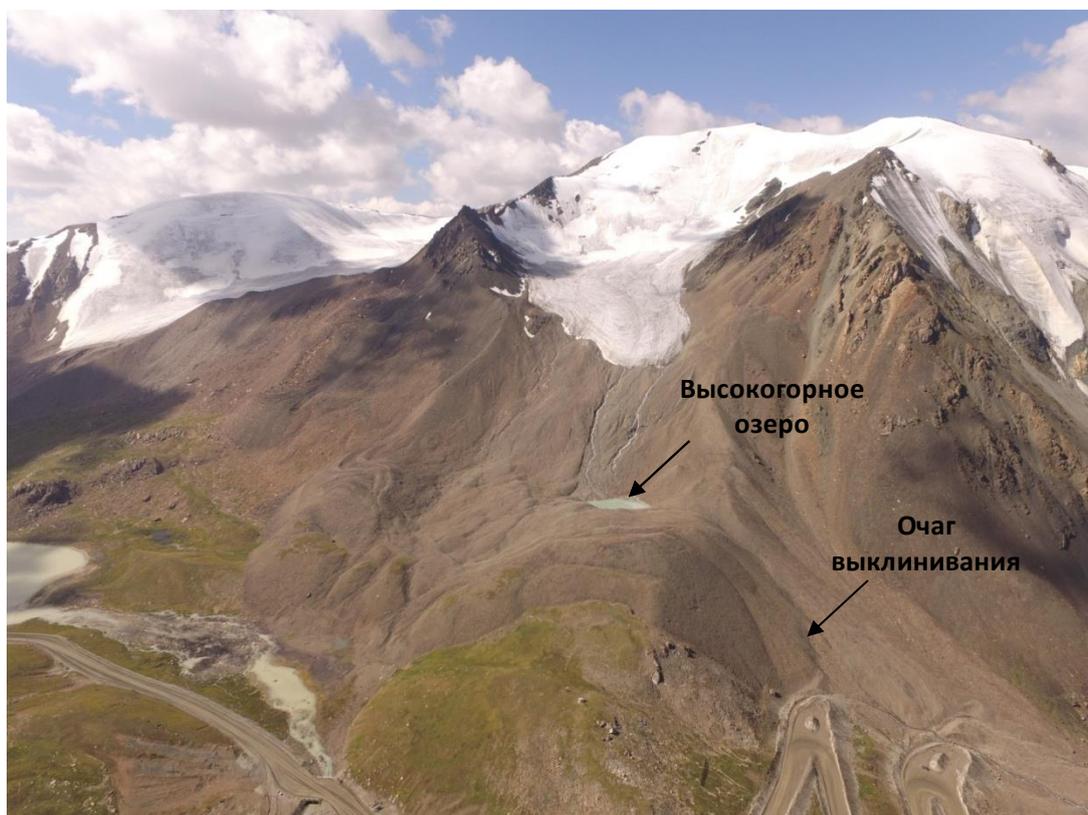


Рис.3.27.Сток из Перевального озера по подземным каналам выходит к подножию правого борта долины лавиносбора №1



Рис.3.28.Вдоль берегов Перевального озера прослеживается белая полоса, обозначающая более высокий уровень подземных вод при максимальном наполнении

*Участки 19-26 км. Селесборы №1,2,6,7,8.* Данные, полученные в процессах последних обследовании опасных селесборов (табл.3.7) показывают, что расход водотоков в них увеличился, за исключением селесборов №6 и 7.

Количество воды прибавилось за счет интенсивного таяния ледников и остатков снежников в верховьях долин этих селесборов (рис.3.29). Расходы этих водотоков приблизились к критическим, превышение которых способствует размыву русловой отмостки и трансформации водного потока в селевой (рис.3.30).

Таблица 3.7

Номер селесбора	Расход, л/с		Минерализация, мг/л	
	Первая декада Июль ср.	Последняя декада Июль ср.	Первая декада Июль ср.	Последняя декада Июль ср.
1	490	2530	55	45
2	1000	1760	36	31
3	2	14	114	90
6	нет воды	нет воды	нет воды	нет воды
7	нет воды	нет воды	нет воды	нет воды
8	15	18	68	73

Приток, почти дисциплированной талой воды, уменьшил минерализацию водотоков. Только в ручье из селесбора №8 минерализация увеличилась, что говорит о фильтрации водотока через рыхлообломочные отложения и их водонасыщение. Это опасный признак подготовки твердой составляющей селевого потока. Причиной отсутствия водотоков в селесборах №6 и 7 (рис.3.31) является то, что вся талая и дождевая вода, питающая водотоки, поглощается рыхлообломочным материалом и водонасыщает его, увеличивая его селевую активность.



Рис.3.29. Расход водотока из селесбора №1 увеличился с 11 до 26 июля 2022 г. с 450 до 2530л/с. При таком расходе водоток никакого влияния на состояние русловой отмытки не оказывает



Рис.3.30.Глыбы русловой отмытки водотока из селесбора №2 может сдвинуть ТОЛЬКО МОЩНЫЙ селевой поток



Рис.3.31. Безводное русло водотока из селесбора №6

Для определения частоты прохождения селей был использован дендрохронологический подход. На селевых конусах выделялись участки покрытые лесом, желательнo с деревьями расположенными вблизи действующих и древних русел и затем на этих участках проводился отбор образцов из поврежденных прошлыми потоками деревьев. На конусе выноса селесбора 1л были взяты одиннадцать образцов *Picea abies*. Из анализа данных датировки селевых потоков не прослеживается закономерности и периодов с высокой частотой прохождения (см. таблицу 3.8).

Таблица 3.8

Год выхода селевых потоков из селесбора 1л	Количество селевых потоков
1908	1
1912	1
1922	2
1925	1
1932	1
1944	1
1956	1
1969	4
1990	1
2011	1

Однако период с 1908 по 1969 гг. отличался большей селевой активностью, только за 1969 было зафиксировано 4 селевых потока, что говорит о формировании селевых потоков, которые вызвали интенсивные ливни. В период с 1990 по 2023 год зафиксировано всего 2 потока, что указывает на снижение динамики в последние 30 лет.

Также были отобраны образцы *Picea abies* на остальных конусах выноса (рис.3.16) В таблице 3.9 приведены данные по координатам деревьев использованных для анализа, датированный возраст на момент проведения анализа (керыны были извлечены в ходе полевых работ, в августе 2021 года).

Таблица 3.9

Селесбор Рис. 3.16	Номер образца	Высота	Координаты	Возраст	Год селя
3	К 3-1	2663	N 41,99397;E77,62730	125	1980 (СО) 1940 (АМИ)*
	К 3-2	2463	N 41,99397;E 7,62730	107	1980 (СО)
4	К 4-1	2680	N 41,98089;E 77,62860	131	2006 (АМИ)
	К 4-2	2475	N 41,98098;E 77,62862	128	2012
	К 4-3	2455	N 41,99397;E 77,62730	98	2012
5	К 5-1	2647	N 41,97773; E 77,62885	54	2012
	К 5-2	2465	N 41,97776; E 77,62880	131	1953
	К 5-3	2460	N 41,97781;E 77,62868	68	2012
8	К 8-1	2649	N 41,95908;E 77,64687	134	1997
	К 8-2	2660	N 41,95933;E 77,64777	103	1953 (АМИ)
	К 8-3	2673	N 41,95948;E 77,64823	140	1932
	К 8-4	2673	N 41,95948;E 77,64823	147	1997 (ИА)
	К 8-5	2674	N 41,95955;E 77,64827	129	1990
	К 8-6	2674	N 41,95955;E 77,64827	87	2006 2008 (АМИ)
	К 8-7	2653	N 41,95894;E 77,64707	121	1961(АМИ)
	К 8-8	2653	N 41,95894;E 77,64707	124	1953
	К 8-9	2683	N 41,95678;E 77,64931	133	(2000 АМИ) 1980
	К 8-10	2642	N 41,96000;E 77,64578	110	2012
	К 8-11	2642	N 41,96000;E 77,64578	90	2012 (АМИ)
9	К 9-1	2664	N 41,95521; E 77,64954	135	1943 (АМИ)
	К 9-2	2660	N 41,95517; E 77,64957	75	1991(ИА)
	К 9-3	2715	N 41,95660; E 77,65102	84	1991
	К 9-4	2720	N 41,95666; E 77,65065	89	1991
	К 9-5	2720	N 41,95666; E 77,65065	169	1974
	К 9-6	2716	N 41,95692; E 77,65053	88	1932 (АМИ)
	К 9-7	2715	N 41,95692; E 77,65053	151	1932
	К 9-8	2727	N 41,95695; E 77,65047	86	1950

\* Месяц схода селевых потоков: АМИ – апрель, май, июнь; ИА-июль, август, сентябрь;  
СО – сентябрь, октябрь.

Данные приведенные в Таблице 3.9 указывают на то что селесборы в бассейне реки Барскаун можно разделить на две категории: активные, в которых наблюдаются селевые потоки в последние 20 лет и пассивные, в которых не зафиксирована селевая активность 50 лет и более. Наибольший интерес вызывает селесбор 8, так как среди всех обследованных долин по нему наблюдается наибольшая активность за последние 30 лет. Также следует обратить внимание на сезонность, почти всем потокам прошедшим в последние 30 лет соответствует период – апрель, май, июнь. Это может быть связано с ранним выпадением жидких осадков в этой высотной зоне.

Деревья на конусе Зл поврежденные селевым потоком находятся в северной части конуса, тогда как вся современная активность на конусе происходит в южной его части где прослеживаются более свежие селевые отложения (рис.3.38).



Рис.3.38. Пассивный елесбор Зл

Данные дендргеоморфологического исследования показывают что почти все селеоборы показывали свою активность в прошлом. В последние тридцать лет наблюдается пассивная фаза селевой активности, за которой может последовать активный период. На основе полученных данных с помощью дендрохронологического анализа данных был составлен график вероятности формирования селевых потоков.

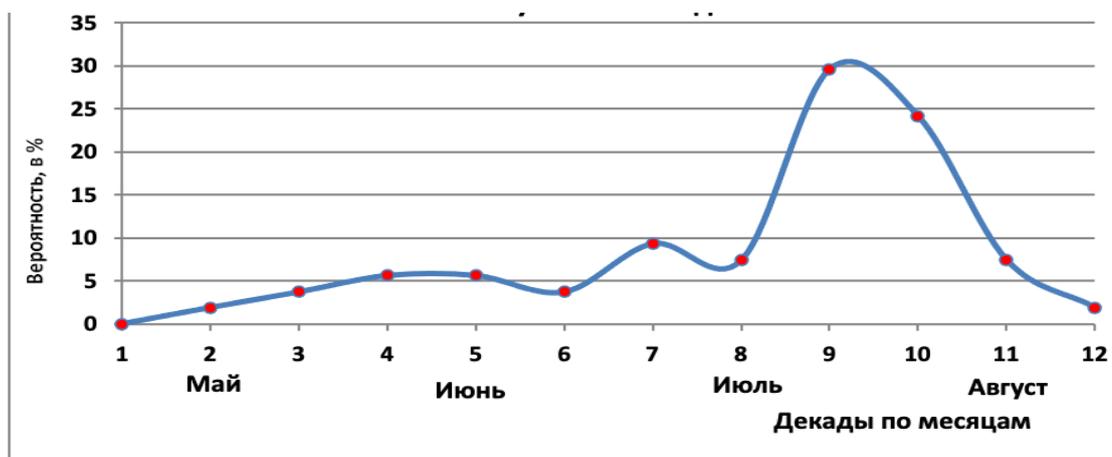


Рис.3.39. Декадный график для летних месяцев и вероятность формирования селя

Анализируя представленный на Рис.3.39 график, можно заметить, что пик вероятности возникновения селевых потоков в долине Барскаун приходится на период с конца июля до начала августа. Это означает, что вероятность формирования селевых потоков в районе опасных участков автодороги Каракол-Кумтор в июне и в первые десять дней июля остаётся относительно низкой.

График декадной вероятности селевых потоков является ключевым инструментом для предсказания времени их возникновения. Максимальный пик вероятности, достигающий 30%, наблюдается в интервале между третьей декадой июля и первой декадой августа. Эта информация крайне важна для планирования мер предосторожности и подготовки к потенциальным рискам, особенно в отношении инфраструктуры и жизнедеятельности в данном регионе. Правильное исследование и анализ данных помогают в разработке эффективных стратегий управления рисками и минимизации возможных убытков от селевых потоков.

### 3.2.6. Селевые потоки угрожающие городу Чолпон-Ата

В результате выпавших интенсивных ливневых осадков в количестве 10 мм 20-сентября 2023 года в течении 40 минут (данные метеорологической станции об осадках выпавших 20.09.2023г. в г.Чолпон-Ата), из селесборов “Тогуз-Булак” и “Чар-Кудук” (площадь водосборов - 1257га, сформировался селевой поток (по данным ДКС МЧС КР расход составлял 19,5 м<sup>3</sup>/сек.), который затопил дворы 36 жилых домов, 2 зданий банка, 6 кафе, 2 магазинов, территорию центра культуры “Рух-Ордо”, полотна автодороги Балыкчы-Чолпон-Ата-Каракол, а также был разрушен трубопровод питьевой воды протяженностью около 8 м, пешеходный мост длиной около 13 м вдоль трассы автодороги.



Рис. 3.40. Селесборный бассейн

Селевой поток невысокой плотности по мере движения вниз по склону трансформировался в мощный по объему наносоводный поток, который привисил водопропускную способность селесбросного канала. Поток переносил крупные камни и древесный материал (ветки, сухие кустарники, фрагменты деревьев и др.) разного размера (диаметр до 25см), в результате чего разрушил каменные борта, дно канала и привел к эрозионному процессу на протяжении с ПК3+00 до ПК12+97. Твердые наносы образовали заторы на 8 мостовых переходах выше автодороги Балыкчы-Чолпон-Ата-Каракол. В результате заторов произошел перелив селевого потока из русла канала который затоплил прилегающие территории.



Рис. 3.41. Последствия селевого потока в г.Чолпон-Ата

На момент обследования наблюдалась просадка левой опоры пешеходного моста №4, координаты данного моста: в.д.: 77.101029°; с.ш.:

42.655738°. Ниже автодороги, в русле канала наблюдаются места поросли деревьев и кустарников, который уменьшает свободному пропуску селевых потоков по каналу (Рис. 3.41).

При проведении обследования был применен метод планированного залета с использованием дрона Matrice 300 RTK, для получения информации о ситуации и ортофотоплана местности. По данным аэрофотосъемки была построена цифровая модель рельефа, на основе которой проведено гидродинамическое моделирование механизма движения и трансформации селевого потока. Были рассчитаны зоны затопления (в м<sup>2</sup>) и определены объекты, находящиеся внутри этих зон. Ниже на Рис. 3.42 приведены результаты проведенного моделирования в специализированной программе Flow-R.

По результатам моделирования видно какие части города находятся под угрозой затопления и какие дома были и возможно будут задеты поток если не принять защитные меры по снижению опасности. Данные моделирования позволили выработать конкретные практические рекомендации:

- провести аварийно-восстановительные работы на селебросном канале на участке ПК 3+00 до ПК 12+97;
  - восстановление опор пешеходного моста №4, очистку выходов мостовых переходов, берегоукрепительные работы по специальному проекту на протяжении около 700м с учетом повышенных расходов селевого потока;
  - провести демонтаж канализационного коллектора препятствующего пропуску селе паводковых вод ниже моста автомобильной дороги Балыкчы-Чолпон-Ата-Каракол;
- провести берегоукрепительных работы с наращиванием левого и правого борта до высоты 2 метров протяженностью около 50 м на участке пешеходного моста ниже автомобильной дороги.

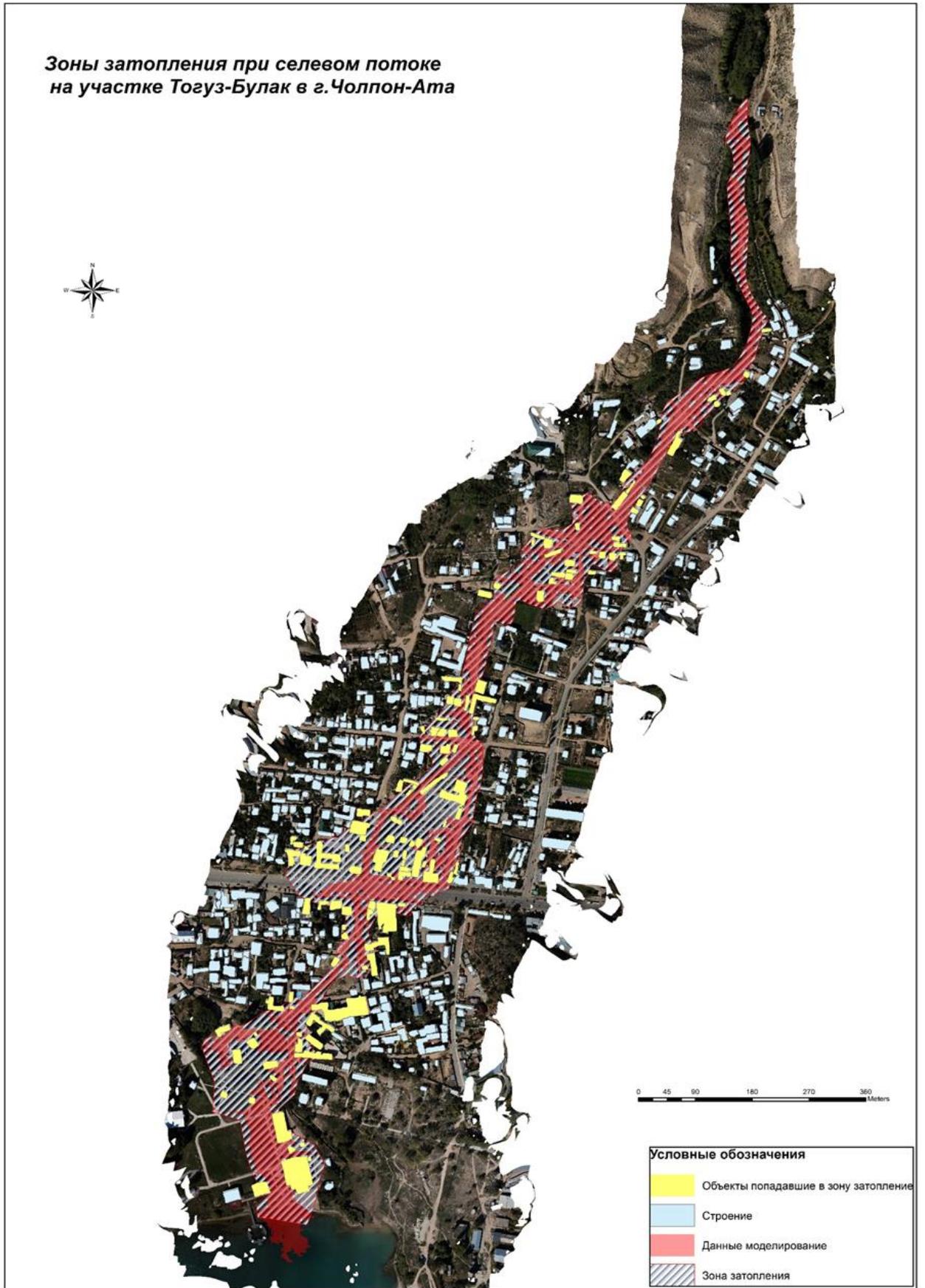


Рис. 3.42. Результаты моделирования селевого потока для города Чолпон-Ата

## **Выводы по главе**

В Тюпском районе Иссык-Кульской области, массовый сход селевых потоков предшествовал обильным и частым атмосферным осадкам, что подтверждается спутниковыми радарными данными. На день схода потоков выраженные пики в данных осадков не наблюдались, что указывает на то, что породы уже были разрыхлены и увлажнены, что способствовало их вовлечению в селевые потоки.

Исследование показало, что селевые потоки в данном районе часто происходят в небольших селесборах площадью до 1 км<sup>2</sup>. При этом, даже небольшие селесборы могут стать источником потоков с большими объемами расхода, что представляет серьезную угрозу для местного населения и инфраструктуры. Важными факторами, способствующими формированию этих потоков, являются как геоморфологические условия местности, так и гидрометеорологические условия, связанные с активностью дождевых фронтов над регионом.

Отсутствие полной метеорологической информации осложняет оценку, при какой интенсивности осадков начинается разрушение почвы и трансформация водных потоков в селевые. В короткие сроки ливневые осадки могут вынести большие объемы грязекаменной массы, что подтверждается находками на конусах выноса.

Неоднородность метеорологических данных и отсутствие явных пиков осадков в дни селевых потоков подчеркивают роль других факторов, таких как литологический состав пород и особенности рельефа. При выпадении осадков на насыщенные водой почвы ускоряются эрозионные процессы, что ведет к увеличению селевой активности. Таким образом, осадки влияют двояко: они подготавливают грунт и обломки к вовлечению в селевые потоки, а также усиливают оврагообразование и эрозию временных русел.

Отсутствие значительных селевых потоков в прошлом привело к застройке конусов выноса в малых селесборах. Анализ архивных аэрофотоснимков показывает, что строительство жилья в устьях саев началось с 1960-х годов, с активным ростом начиная с 2000-х. Это стало одной из причин значительного ущерба, также усугубленного деградацией пастбищ и отсутствием травяного покрова, что увеличивало выветривание пород. Существующая ирригационная сеть была недостаточной, а существующие противоселевые сооружения нуждались в реабилитации.

Для оценки селеопасности малых селесборов, необходимо применение моделирования и использование современных методов оценки таких параметров как интенсивность и количество осадков. Это требует интеграции новых параметров и показателей в модели прогнозирования, что позволит более точно предсказывать стихийные бедствия.

В случае анализируемых исторических прорывов, для всех рассмотренных случаев характерной особенностью является прорыв по внутреморенным каналам стока. Процесс накопления воды в моренно-ледниковых озерах зависит от местных условий и может быть постепенным как в случаях с озерами Тезтор

и Челектор, а может достигать нескольких месяцев (Акпай), прежде чем объем воды достигнет критической отметки, приводящей к прорыву.

Ключевым фактором здесь является нестабильность сточных каналов, что усиливает вероятность их повторной закупорки. Это, в свою очередь, приводит к новому накоплению воды в озере и повторному его прорыву. Эта цикличность подчеркивает необходимость более глубокого понимания процессов, происходящих в моренно-ледниковых озерах, и разработки стратегий для предотвращения или уменьшения последствий потенциальных прорывов. Особое внимание следует уделить мониторингу состояния подземных каналов и уровня воды в озерах, а также разработке методов своевременного реагирования на изменения в динамике этих природных систем для защиты окружающих населенных пунктов и инфраструктуры.

Пример озера Акпай доказывает, как важно получать своевременную информацию для мониторинга опасностей возможных прорывов.

На перевале Барскаун в начале августа наблюдается увеличенный риск прорыва внутриледниковых емкостей на леднике лавиносбора №4, что создает потенциальную угрозу для участка автодороги между 41,9 и 42 километрами. Эта ситуация требует особого внимания и мер предосторожности.

В районе селесборов, расположенных между 19-м и 27-м километрами автодороги, также замечены признаки, указывающие на подготовку к образованию селевых потоков. Здесь талая и дождевая вода, попадающая на рыхлообломочный материал, усиливает его насыщение водой и повышает риск селевых потоков. Существует вероятность формирования селевых потоков в селесборах №1, 2, 3, 6, 7 и 8, особенно после сильных ливней в первой декаде августа.

Относительно долины Дунгуромо, не исключается возможность образования селевого потока или мощного паводка в первой половине августа при условии аномально сильных ливневых дождей. Предшествующие опасения о том, что в реке Дунгуромо может происходить опасное накопление воды из-за задержки стока естественной плотиной, были рассеяны последними обследованиями. Они показали, что для формирования мощных потоков требуется значительный стимул, такой как обильные осадки или скопление и прорыв талых вод.

Рекомендации по защите от селевых потоков включают:

1. Продолжение мониторинга селесборов для сбора данных, необходимых для прогнозирования селевых потоков и разработки эффективных защитных мер.

2. Обозначение особо опасных участков автодороги дорожными знаками на интервалах 19,0-19,16; 20,05-20,20; 25,26-25,30; 25,89-25,91; 26,4-

26,5; 27,0-27,05; 29,2-29,3 и 41,9-42км. Эти зоны являются потенциально опасными для селевых потоков, и в них запрещается остановка и задержка транспорта. Важно как можно быстрее покинуть зоны потенциального селевого поражения.

3. Установка предупредительных знаков «Осторожно селевой поток» и «Остановка запрещена» перед зонами селевого поражения на автодороге.

Также необходимо провести моделирование селевых потоков с целью выработки рекомендаций с защитными мерами и техническими решениями.

#### **Глава 4. Моделирование селевых потоков на примере речных долин Северного Тянь-Шаня**

Селевые потоки и паводки зарождаются высоко в горах, но своими проявлениями охватывают не только горную часть долины, но и обширные участки подгорных равнин, а также равнинных участков. Проживающие на равнине люди чувствуют себя в полной безопасности, часто даже не подозревая,

какая угроза нависает над ними. Поэтому селевые и наносоводные потоки и порождаемые ими паводки нередко становятся катастрофическими. Помимо прорывоопасных озер, многочисленные примеры и исторические данные свидетельствуют о том, что ливневые осадки в количестве более 30 мм на предгорьях могут формировать селевые паводки [2, 43].

По многим горным долинам паводки с катастрофическими последствиями проходили неоднократно в прошлом. Схема формирования селевых потоков приведена в Таблице 4.1.

Таблица 4.1. Трансформация селевого потока

Зона	Трансформация потока		
	Горная	Грязекаменный	грязевой поток
Предгорная	наносоводный поток		паводок
Равнинная	паводок		

По степени насыщения твердыми частицами или по объемному весу селевой массы, различают потоки малой, средней и большой насыщенности [5 - 7]. Сели малой насыщенности близки к водным потокам и за условную границу между ними принимают насыщенность 50-60 кг в 1 м<sup>3</sup> воды, что соответствует объемному весу селевой массы 1.03-1.04 т/м<sup>3</sup>. Потоки в 1 м<sup>3</sup> воды которых содержится 200-800 кг твердых частиц, относятся к потокам средней насыщенности. Наибольшими значениями насыщенности являются 2300 кг [30]. Как показывают результаты полевых исследований для потоков вызванных прорывами высокогорных озер плотность селевой массы может достигать 2.1 г/см<sup>3</sup> [30].

Поэтому в горной зоне жилым и хозяйственным объектам угрожают грязекаменные и грязевые потоки наносоводные и паводковые потоки, в предгорной зоне наносоводные и паводковые потоки. Верхним пределом принято считать

Рассчитать потенциальную зону поражения представляется возможным только применив математическое моделирование заложив в него данные полевых исследований. В данном исследовании принято решение использовать комбинацию из классических методов, включающие профилирование долины, но в данном случае нами использовалось профилирование на основе построенной DEM модели с точностью 20 см, в программе Global Mapper были

построены поперечные профили необходимы для расчета пропускной способности русла реки.

#### 4.1. Моделирование селевых потоков в программе RAMMS

Для моделирования селевых потоков в качестве примера была взята хорошо изученная долина реки Ала-Арча.

Так как по долине реки Ала-Арча весьма вероятно прохождение селевых потоков, вызванных прорывами высокогорных озер с последующим формированием вниз по течению долины мощного паводка, то было принято решение использовать программу RAMMS, как наиболее подходящую для поставленных задач.

В специализированной программе RAMMS-DebrisFlow для построения входного гидрографа. Входные параметры приведены в Таблице 4.2.

Таблица 4.2. Трансформация селевого потока

Параметры построения входного гидрографа прорыва с учетом эмпирической зависимости между общим объемом и максимальным расходом воды		Примечание
По долинам	<i>Аксай, Тезтор и Тонкарагай</i>	Объем, исходя из анализа исторических прорывов
Объем $W$ м <sup>3</sup>	200000	
Максимальный расход воды $Q_{max}$ м <sup>3</sup> /с	800	
Время наступления пика $t_1$	60	
Время окончания излива $t_2$	7500 с	
Максимальная скорость течения $V_{max}$	6 м/с	Плотность селевого потока была задана в соответствии с начальным значением грязевого селя
Плотность селевого потока кг/м <sup>3</sup>	1400	
Коэффициент сухого трения	по умолчанию	Коэффициент сухого трения был задан в соответствии с рекомендациями разработчиков программы RAMMS
Тангенс уклона склона в зоне аккумуляции $\mu$	0,107	По тангенсу уклона склона в зоне аккумуляции выше альпинистского лагеря
Коэффициент турбулентного трения $\xi$	1 000 м/с <sup>2</sup>	Был использован средний для селевых потоков

На Рис. 4.1 приведен фрагмент карты с указанием высоты прорывной волны вызванной прорывом озера Аксай.

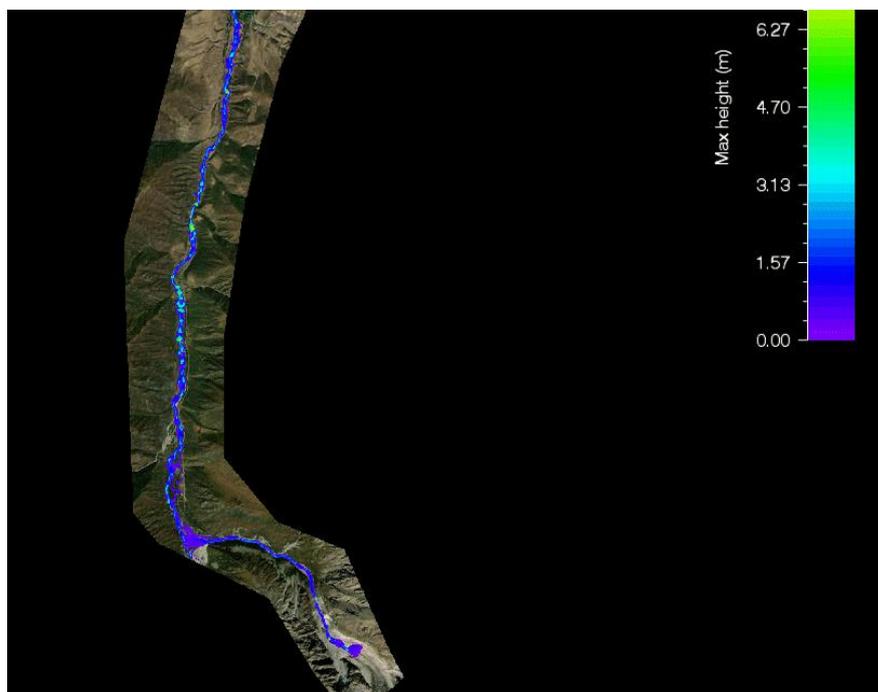


Рис.4.1. Смоделированный прорыв озера Аксай

В верхней зоне были отмечены зоны эрозии, включая береговую, за счет воздействия селепаводкового потока на борта (Рис. 4.2., пунктирная линия) реки и селевые очаги, как источники потенциального селеформирующего материала по реке Тезтор (Рис. 4.3).

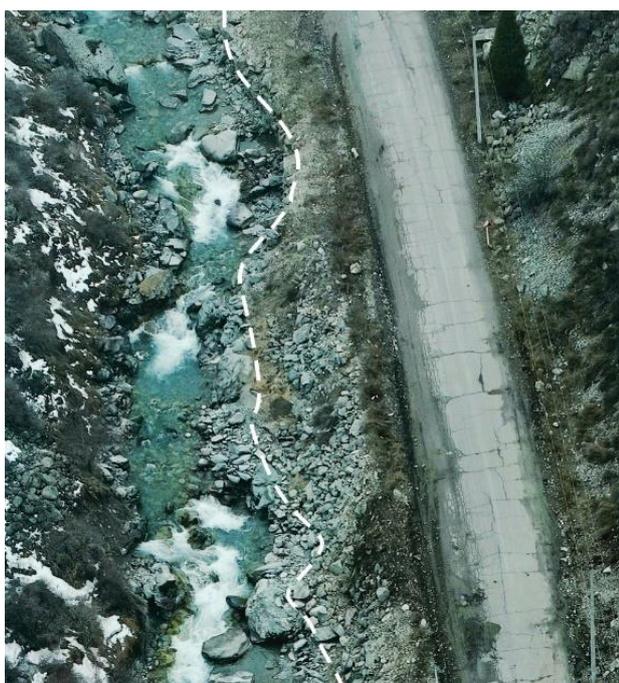


Рис. 4.2. Национальный парк Ала-Арча, место береговой эрозии

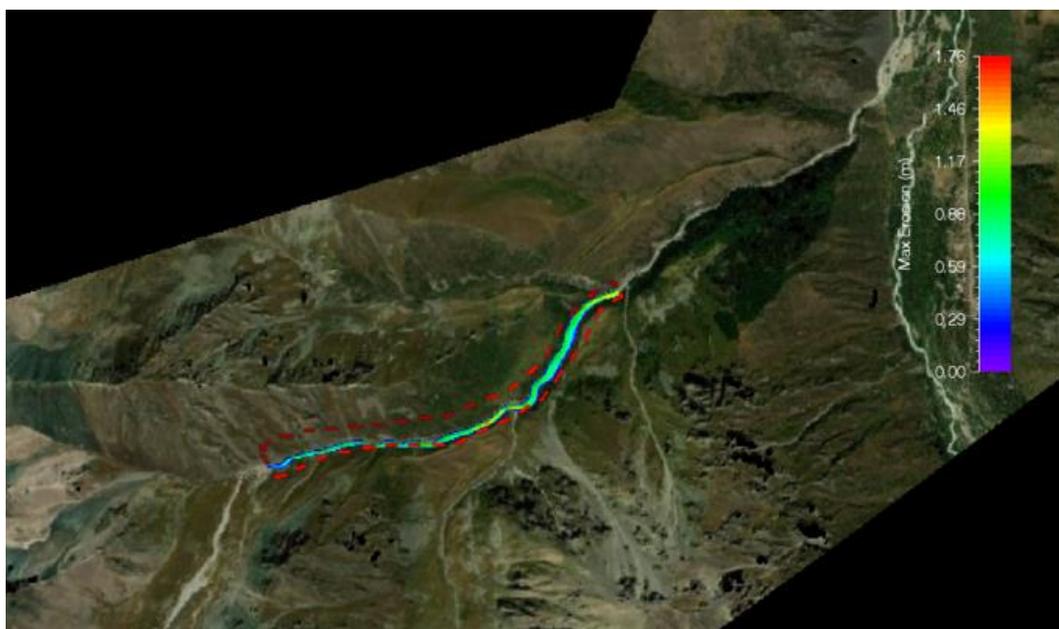


Рис. 4.3. Пример выделения селевого очага в программе RAMMS

Используя начальные данные для моделирования прорыва озера использовалась цифровая модель местности, построенная на основе комбинированных данных аэрофотосъемки и спутниковых снимков High Mountain Asia, 8 метрового разрешения, имеющих ряд ограничений и артефактов, проблемы с данными изображениями были устранены в программе ENVI. Для пойменных территорий, покрытых растительностью, была проведена корректировка рельефа. Ниже села Кашка-Суу была использована ЦМР с разрешением 4.2 метра, построенная на основе данных аэрофотосъемки. С данными исходными параметрами поток был смоделирован до бассейна дневного регулирования (БДР) в селе Кашка-Суу. Ниже резервуара плотность наносоводного потока уменьшится и составит 1100 - 1200 кг/м<sup>3</sup>. Также изменится и значение скорости селевого потока понизится до  $V_2 = 2-3$  м/с. Основная грязекаменная масса останется в зоне разгрузки, конусе выноса, а также тяжелая фракция осядет в районе верхнеалаарчинского водораспределителя и по бортам реки Ала-Арча на участке въезд в Природный парк Ала-Арча - село Кашка-Суу. Небольшая подпитка обломочным материалом будет за счет обломков принесенными прошлыми селевыми потоками, а также за счет береговой эрозии. Расход паводка ниже резервуара будет  $Q = 70$  м<sup>3</sup>/с (исходя из исторических данных, соответствующие данным расхода 1% обеспеченности).

Как упоминалось ранее, ниже данного резервуара селевой поток трансформируется в наносоводный паводок, поэтому ниже слияния целесообразно проводить новый этап моделирования с новыми параметрами.

В модели, используемой в исследовании, необходимы дополнительные регулировки и проверка достоверности параметров. Применение гидрографа состоящей из трех точек в модели может вызывать чрезмерные оценки расхода воды и скорости потока. К тому же, важно адаптировать коэффициент турбулентного трения, учитывая особенности основания и основной тип перемещения осадков. Сравнение результатов моделирования (Petraikov et al., 2012) с реальными сценариями выявило небольшие различия в зонах поражения селевым потоком, в процессе симуляции различных сценариев, обнаружилось, что скорость потока в этих моделированиях была заметно ниже, что кажется более соответствующим действительности. Такие различия в результатах моделирования могут быть объяснены уникальными особенностями расчетных методов и физических принципов, которые заложены в основу этих моделей. Мы пришли к выводу, что использование программы RAMMS представляет собой адекватный инструмент для воспроизведения реальных условий, так как она учитывает ряд ключевых аспектов, включая угол падения склона, физико-механические характеристики потока: турбулентность, пластичность, вязкость потока, содержание пылеватых фракций. В контрасте с этим, другие модели, первоначально разработанные для имитации потоков воды в основном на равнинных условиях, такие как HEC-RAS и FLO-2D, требуют более детальной и точной калибровки, для имплементации в случае высокогорного рельефа. Как следствие, данные модели не полностью адаптированы к условиям горной местности, что может приводить к определенным ограничениям в их применении для моделирования селевых потоков в горных районах. Результаты этого исследования имеют важное значение для разработки стратегий защиты и системы раннего предупреждения, особенно важен продолжающийся мониторинг ледника Аксай для более точного прогнозирования его изменений и оценки риска повторения гляциальных катастроф. Все результаты основаны на современных методологиях, и их практическая значимость заключается в возможности использования для минимизации рисков природных катастроф в горно-ледниковых районах. Параметры, использованные при моделировании селевого потока, позволили сформировать предварительную картину процесса. Предполагается, что моделирование селевого потока следует разделить на несколько этапов. В высокогорной зоне поток имел максимальную плотность и состоял из смеси грязи и камней, далее поток из связного переходит в несвязный оставляя часть влекомого материала на дне и бортах реки. Также происходит значительное изменение скорости потока которая прямопропорциональна уклону. Фрагменты карты зоны поражения, рассчитанные в RAMMS и конвертированные в формат .shp для работы в ГИС, представлены на Рисунках 4.4 и 4.5.

Селевой поток смоделирован в программе RAMMS до резервуара в с. Кашка-Суу для прорывов по долинам Аксай и Тезтор (Адыгене), так как основная часть грязекаменной массы, вовлеченной в поток по мере движения вниз разгрузится именно здесь и далее была применена программа HEC-RAS для моделирования паводка ниже водораспределителя и городу Бишкек.

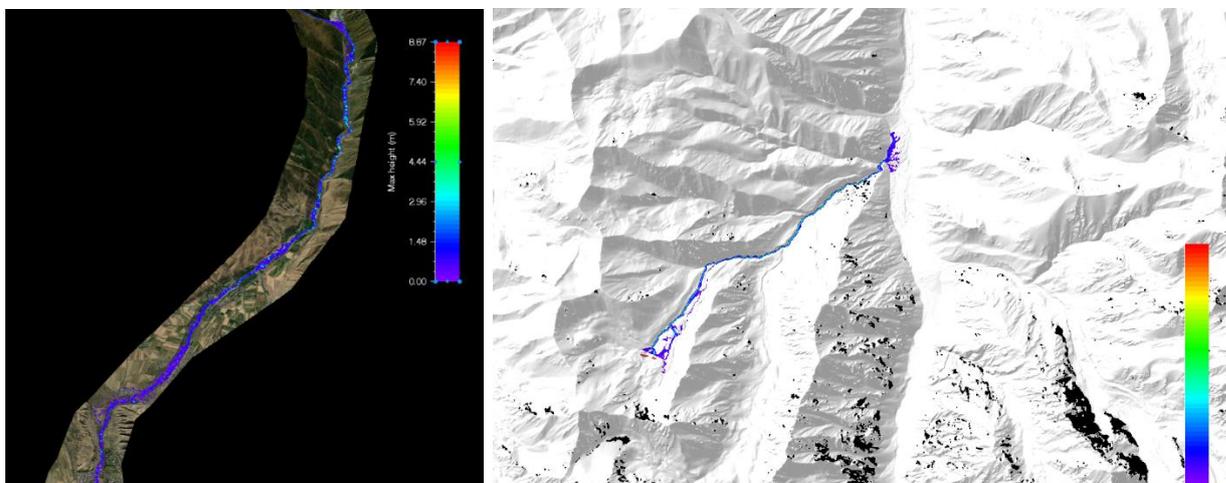


Рис. 4.4. Зона поражения, построенная по результатам моделирования в RAMMS

На некоторых участках модель построенная в RAMMS учитывала препятствия перед потоком занижая расходы потока после преодоления потоком препятствия, при этом зона поражения сильно заужена так как плотность потока после прохождения препятствия приближена к плотности воды, после чего плотность снова начинает увеличиваться.

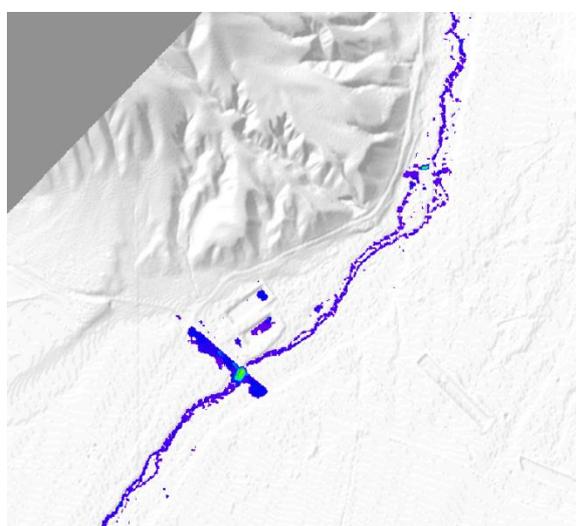


Рис. 4.5. Район Ортоальшского водозаборного сооружения

Тем не менее с использованием данной программы была составлена модель для всего города Бишкек.

В Приложении 4 и 5 приведены данные проведенного моделирования в программе RAMMS для возможных прорывов озер расположенных в бассейнах рек Северного Тянь-Шаня. Так рассчитаны прорывы прошлых событий и смоделированы сценарии на текущий момент.

## **4.2. Моделирование селевого потока по утвержденной национальной методике**

Расчет зоны действия паводков в долине реки Ала-Арча проводился на основе официально принятого документа - СНИПа [106]. В предлагаемой методике используется свой подход, при котором процессы, селеобразования, движения селевых и паводковых потоков рассматриваются в их тесной взаимосвязи как отдельные фрагменты единого сложного многофакторного природного явления. Данная методика не учитывает процесс потери потоком расхода, скорости и уменьшение плотности по мере продвижения селевого потока вниз по долине.

По методике, изложенной в этом документе было проведено профилирование долины реки Ала-Арча и составлена карта паводкового поражения, т.е. участка действия паводков. По каждому из профилей рассчитывались водопропускные параметры русла реки на линии профиля: высота, ширина, площадь сечения, уклон, скорость, расход. Поперечные профили вдоль русла размещались неравномерно, а более сосредоточенно на участках с его наименьшей водопропускной способностью. Такими участками являются автомобильные, железнодорожные, пешеходные мосты, акведуки и дюкеры водоканалов, сужения русла, вызванные заносами рыхлообломочного материала и разного мусора. Водопротускную способность русла могут значительно уменьшать различного рода русловые и прирусловые сооружения.

### **4.2.1. Определение высоты прорывного потока**

Для определения ширины ( $B$ ) зоны паводкового и селевого поражения необходимо знать высоту (глубину) ( $H$ ) прорывного потока в каждом поперечном профиле-створе. Действительную высоту  $H$  прорывного потока определить невозможно или очень сложно, так как паводковый и селевой процессы находятся под влиянием многочисленных факторов, действующих в тесной взаимосвязи.

Оценка роли каждого из них в настоящее время не представляется возможной.

Поэтому мы используем теоретически условную высоту потока -  $H_p$ , которая будет несколько больше  $H_d$  (действительной), что необходимо для надежности расчетов.

Доказательство правомерности неравенства  $H_p < H_d$  приводятся ниже. Значение  $H_p$  рассчитывается по формуле И.И. Херхеуледзе (1972), преобразованной относительно  $H_p$ .

$$V = 4,83 \times H_p^{0,5} \times i^{0,25} \quad (6)$$

$$V = Q_n / F_p \quad (7)$$

$$H_p^{3/2} = \frac{Q_n}{4,83 \times i^{0,25} \times B} \quad (8)$$

В формулах  $H_p$  - рассчитанная высота прорывного потока, м;

$V$  - скорость прорывного потока, м/сек;

$i$  - уклон дна долины,  $i = \operatorname{tg} \alpha$  – угол уклона долины;

$Q_n$  - расход прорывного потока, м<sup>3</sup>/сек;

$B$  - ширина дна долины, м; дном считается русло, пойма и позднеголоценовые террасы долины;

$F_p$  – рассчитанная площадь поперечного сечения прорывного потока (6);

(для расчетов принимаем форму сечения прямоугольной):  $F_p = H_p \times B$

Произведение  $H_p \times B$  дает теоретически рассчитанную площадь  $F_p$  поперечного сечения прорывного потока. При этом предполагается, что сечение потока прямоугольное. В действительности поток растекается по дну долины, занимая все ее сечение площадью  $F_d$  и высотой  $H_d$  (см. рис.4.3).  $F_d$  и  $H_d$  – действительные площадь и высота сечения прорывного потока. Форма сечения  $F_d$  обычно трапецевидная. При равенстве  $F_p = F_d$  значение  $H_p$  будет превышать  $H_d$ .

Разница между  $H_p$  и  $H_d$  создает запас прочности расчетов, что необходимо для надежности определений ширины и границ зоны поражения по каждому поперечному профилю – створу, а тем самым определению границ зоны поражения.

Этот запас прочности необходим из-за характера прорывного потока. Режим его движения турбулентный, что делает расход потока нестабильными. К этому еще добавляются различного рода заторы в русле, прорывы которых резко увеличивают высоту потока. Соответственно расширяется зона поражения. Предусмотреть негативное действие такого рода аномальных явлений можно только путем увеличения надежности расчетов, т.е. сохраняя неравенство  $H_p > H_d$ .

#### 4.2.2. Определение ширины и границ зоны поражения

Процесс определения разделяется на два этапа; полевой и камеральный. На полевом этапе проводится «профилирование» долины, и построение поперечных профилей-створов по пути движения прорывного потока (см. рис.4.3-4.4). Расстояние между профилями зависит от необходимой детальности обследования. На каждом створе определяется уклон русла потока, характер строения днища и бортов долины (это позволит охарактеризовать поток как селевой или как паводковый). При обследовании определяются физико-механические свойства *ПСМ* (потенциально селевой материал): его плотность, влажность, угол естественного откоса, пористость, гранулометрический состав.

На камеральном втором этапе работ проводятся расчеты параметров прорывного потока по вышеприведенным формулам. На каждом поперечном профиле-створе определяются ожидаемые  $\rho_c$ ,  $C_m$ ,  $tg\alpha$ ,  $Q_v$ ,  $Q_n$ ,  $Q_c$ ,  $B$ ,  $i$ , и как конечный результат  $H_p$ . Все эти параметры выносятся на продольный профиль долины (рис.4.6). Теоретически рассчитанная высота потока на каждом профиле отражает тот уровень, к которому приближается высота действительного потока -  $H_d$ , но не может ее превысить из-за надежности расчетов. Исходя из этого положения можно считать ширину зоны селевого и паводкового поражения  $S_p$  соответствует ширине долины на уровне, соответствующем уровню теоретически рассчитанной высоты -  $H_p$ .

При этом  $S_p > S_d$  ( $S_d$  - действительная ширина зоны поражения), что необходимо для надежности. Между профилями величина  $S_p$  изменяется постепенно, что позволяет при ее определении применить линейную интерполяцию.

Таким образом, ширина зоны поражения может быть определена в любом поперечном створе вдоль пути прорывного потока, а соединив береговые точки зоны поражения между створами линией (по закону линейной интерполяции) можно получить границы зоны селепаводкового воздействия.

При расчете границ зоны поражения некоторые сложности возникают на участках разветвления потока. Расход потока по каждому ответвлению рассчитывался исходя из следующих уравнений

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}; \quad \frac{Q_1 + Q_2}{Q} = I; \quad \frac{F_1 + F_2}{F} = I \quad (9)$$

где  $Q_1; F_1; S_1$  - расход, площадь поперечного сечения и ширина потока на первом ответвлении;

$Q_2; F_2; S_2$  - то же на втором ответвлении;

$Q$  и  $F$  - расход и площадь поперечного сечения потока до разветвления.

В пределах города Бишкек масштаб профилирования составил 1:10000, в предгорной и горной частях масштаб был более мелким - 1:25000 (Рис.4.6). По

каждому профилю был проведен расчет его пропускной способности применительно к расходу 1 % обеспеченности (для реки Ала-Арча такой расход равен 70 м<sup>3</sup>/сек.), а также определена ширина зоны возможного затопления прибрежных участков реки Ала-Арча при таком расходе. Всего в пределах города Бишкек, выделено 11 участков затопления, на которых паводковый поток может выйти за пределы русла реки Ала-Арча и затопить прибрежные территории. Ниже показаны карты этих участков с указанием профилей расчета пропускной способности русла и границами зоны затопления. На Рис.5 приведены профили построенные в 2015 году при ручном измерении по всей реке Ала-Арча. В данной работе при помощи построенных на основе аэрофотосъемки ортофотопланов и ЦМР были обновлены профили, разрешение построенных ЦМР 4 м. Русло реки Ала-Арча видоизменилось за последние 7 лет в связи с чем в некоторых местах упала пропускная способность русла. Также вдоль русла реки появились новые здания и сооружения, которые находятся в потенциальной зоне поражения.

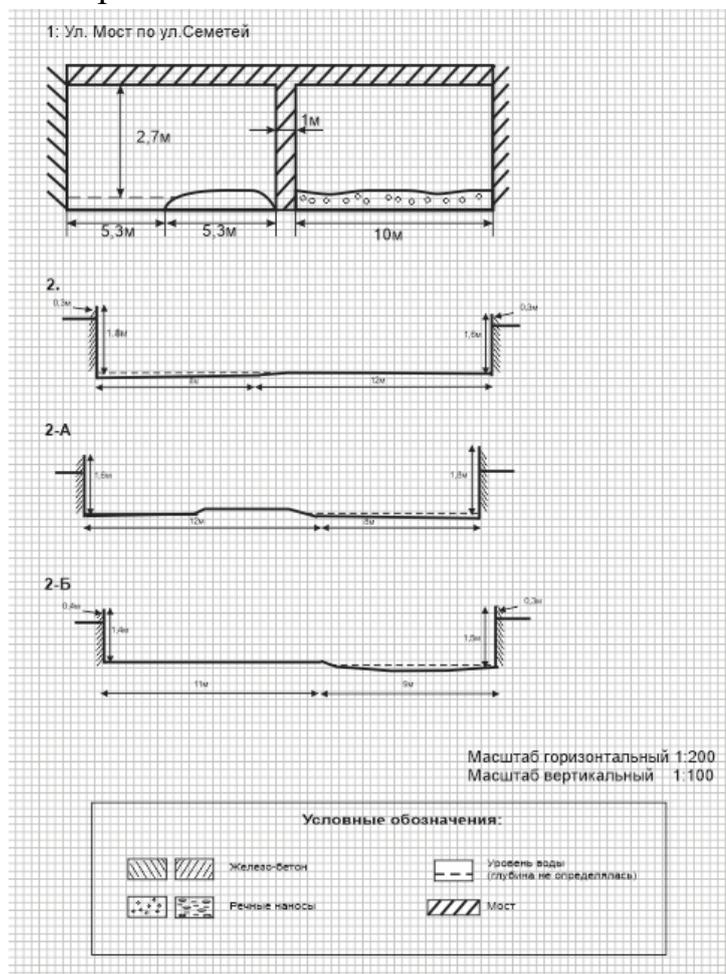


Рис. 4.6. Профили построенные по р.Ала-Арча

После обновления профилей (Рис.4.7) и расчетов основных параметров в программе Excel была обновлена карта зоны поражения рассчитанная на расход  $70 \text{ м}^3/\text{с}$ .

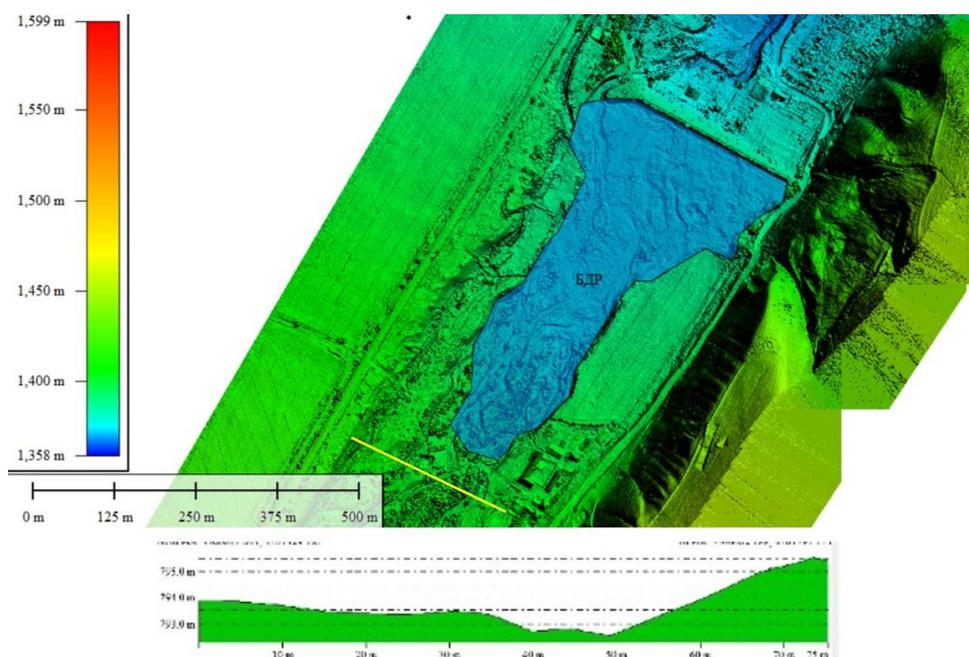


Рис. 4.7. Процесс обновления поперечного профиля

Всего в пределах города Бишкек, выделено 11 участков затопления, на которых паводковый поток может выйти за пределы русла реки Ала-Арча и затопить прибрежные территории. Ниже показаны карты этих участков с профилями расчета пропускной способности русла и границами зоны затопления.

#### 4.2.3. Определение расхода паводкового потока

При прорыве озера водный поток устремляется вниз по долине и в условиях отсутствия селевых очагов переходит в паводковый поток более или менее насыщенный обломочным материалом ( $\rho < 1,1$ ). Паводковый поток образуется также после распада селевой смеси на выположенных участках долины. Его расход определяется по формуле:

$$Q_n^i = Q_b^i + \frac{Q_b^i \times (\rho_b^i - \rho_b)}{\rho_t} \quad (10)$$

где  $Q_n^i$  – расход потока в определяемом створе,  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$Q_b^i$  – расход потока в предыдущем створе,  $Q_b^i = Q_n^{i-1} \times (1 - C_T^{i-1})$ ,  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$\rho_b^i$  – плотность потока в определяемом створе;

$Q_b$  – расход водного потока;

$C_T$  – концентрация твердого материала в селевой смеси;

$$\rho_B^i = (1 - C_T) \rho_B + C_T \rho_T \quad (11)$$

где, концентрация твердого материала  $C_T = \frac{\rho_B \times \operatorname{tg} \alpha}{(\rho_T - \rho_B) \times (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \alpha)}$  (12)

в которой  $\rho_T$ ,  $C_T$  – плотность и концентрация твердого вещества в потоке;  $\rho_T$  (плотность селевого потока) – определяется опытным путем, а значение  $C_T$  по формуле (12).

### 4.3. Моделирование паводкового потока в программе HEC-RAS

Перед БДР поток полностью разгружается, весь влекомый твердый материал осаждается здесь, далее возможно формирование каскадного риска, при прорыве насыпной дамбы БСР в селе Кашка-Суу. Поэтому ниже БДР по течению было применено 1-D гидродинамическое моделирование с использованием специализированной программы HEC-RAS. В качестве входных параметров были заложены расходы селевых потоков исходя из исторических событий и данных полевых исследований. Входная ЦМР специально построенная в рамках данного исследования с разрешением 4.2 метра, является наиболее точной для данного района и позволяет наиболее точно определять необходимые исходные условия для проведения моделирования, как само русло реки так и берег реки необходимые для построения поперечных профилей. Всего в программе HEC-RAS было построено 189 поперечных профилей, самая низкая абсолютная отметка расположения поперечного профиля 658 м н.у.м. и самая высокая (ниже БДР в с. Кашка-Суу) составляет 1410 м н.у.м. По результатам проведенного моделирования также были выделены зоны, которые будут затоплены в результате прохождения паводка для различных расходов (Рис.4.8), применен метод “steady flow analysis” для расходов 50, 60, 70 м<sup>3</sup>/с. Продольный профиль реки Ала-Арча приведен на Рис.4.9.

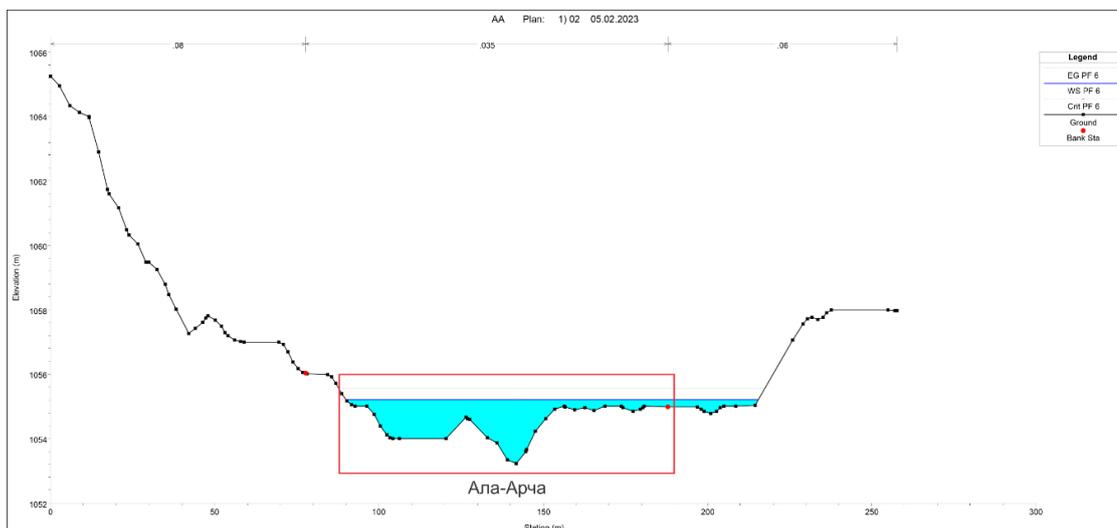


Рис. 4.8. Фрагмент зоны затопления по городу Бишкек

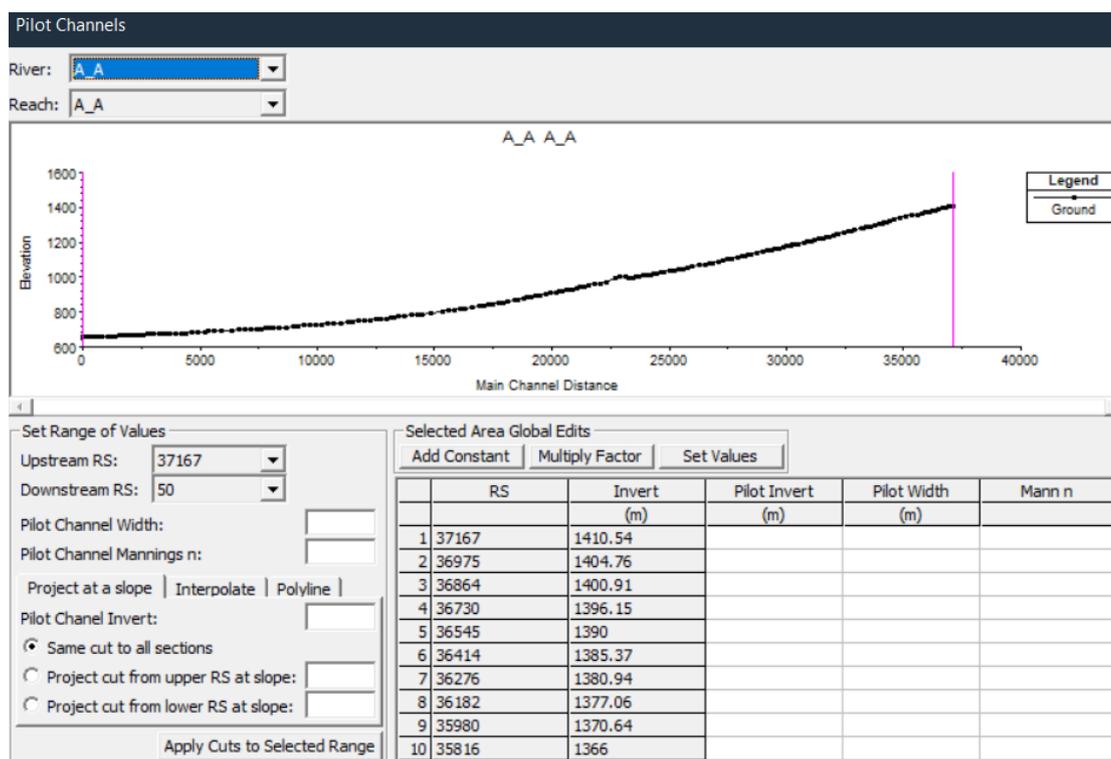


Рис. 4.9. Продольный профиль реки Ала-Арча

Всего от БДР в селе Кашка-Суу до нижней части границ города Бишкек построено 189 поперечных профилей (Рис.4.10).

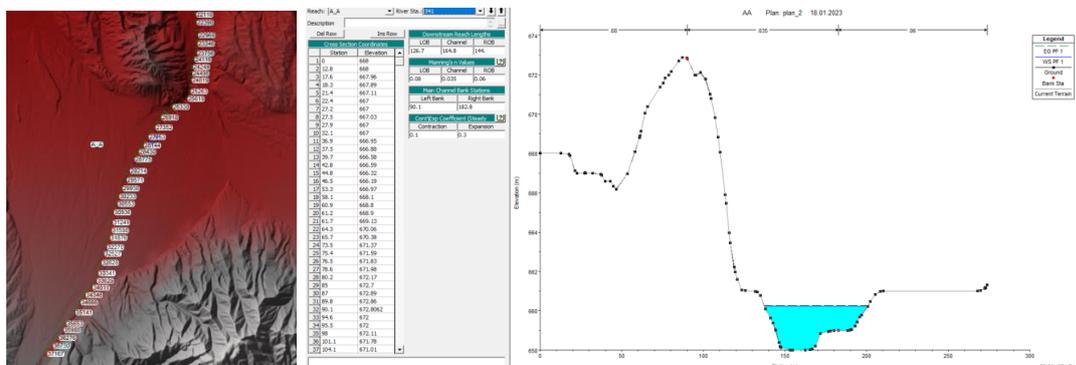


Рис. 4.10. Пример построения продольного профиля с указанием зоны затопления рассчитанной на расход 70 м<sup>3</sup>/с

#### 4.4. Сравнение результатов моделирования

Для валидации полученных данных по результатам применения трех подходов по моделированию селевых и паводковых потоков, с использованием программы RAMMS, с применением [107] с построением поперечных профилей на основе построенной ЦМР (на основе данных аэрофотосъемки) и моделированием паводкового потока по городу Бишкек с использованием HEC-RAS. Данные результатов моделирования были загружены в виде векторных слоев в ArcGIS и затем было произведено сравнение с использованием специальных инструментов, для выявления расхождений. На Рис. 4.11-4.12 приведены результаты сравнения двух зон поражения. Таким образом модель построенная в программе RAMMS расширяет зону поражения в верхней части (до города Бишкек), что может быть связано с особенностью рельефа и применяемому алгоритму расчета, а также ограничениям связанными с ЦМР), так высота волны рассчитанная в RAMMS больше чем рассчитанная по [107] на 0.5 метра, в некоторых местах почти на 1 метр. В верхней части города Бишкек от улицы Семетея до 10 микрорайона расхождения незначительные, на участке от 10 микрорайона до улицы Медерова, модель рассчитанная в RAMMS показывает значительно большую зону (до 150 метров) по левому борту. Такая же ситуация наблюдается в Рабочем городке где зона поражения значительно шире и охватывает более обширные территории. В нижней части города Бишкек ситуация обратная, зона, рассчитанная в RAMMS постепенно сужается в то время как рассчитанная по [107] остается по-прежнему широкой. Такое возможно из-за того, что по [107] расход который прогоняется по руслу не теряется и является величиной постоянной до самого последнего профиля, что является неверным и не учитывает потери и расхода. В модели RAMMS напротив учитывается фактор уменьшения расхода и уменьшения высоты прорывной волны. В программе HEC-RAS заданный расход пропускается по профилям построенными по цифровой модели рельефа.

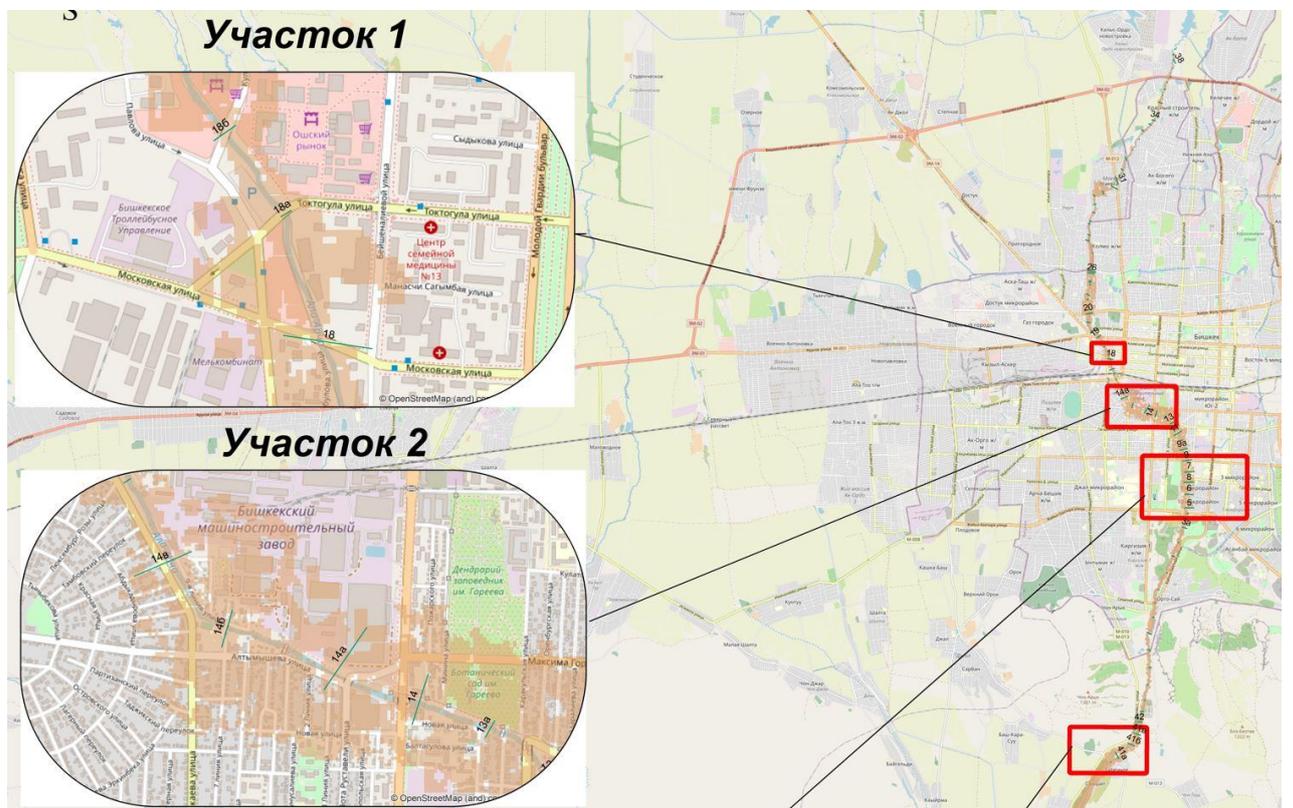
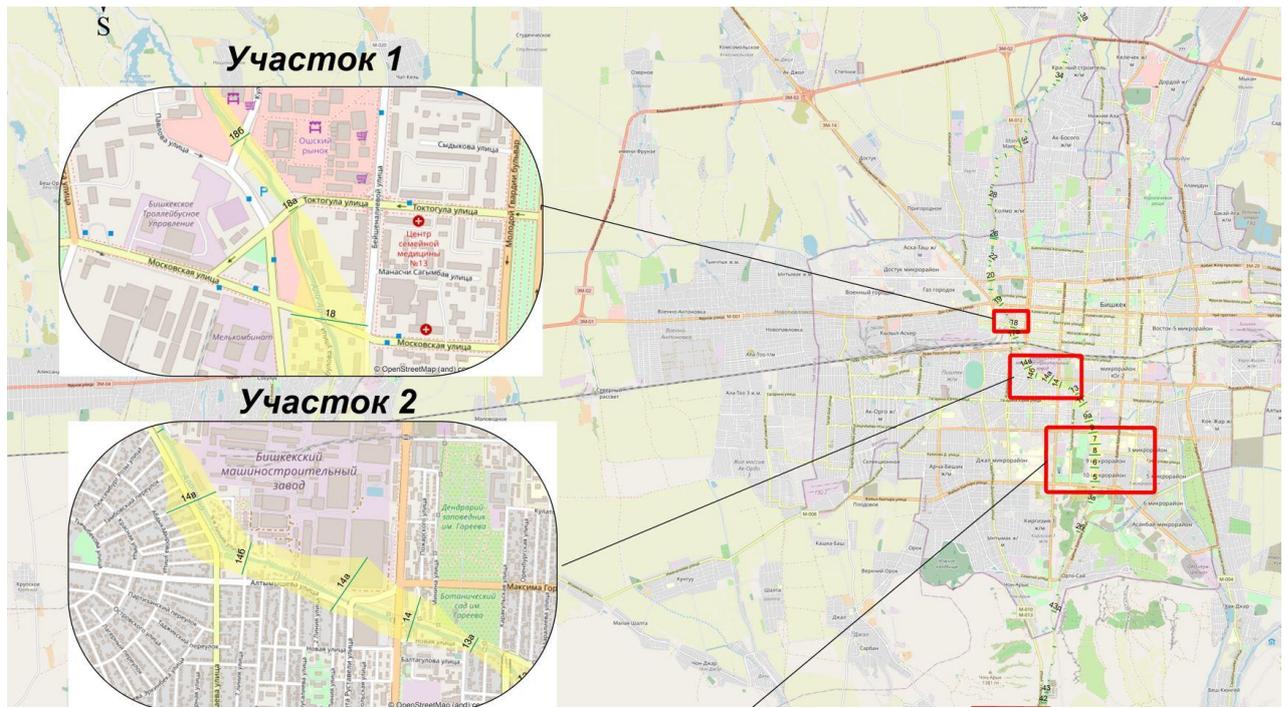


Рис. 4.11. Фрагмент карты сравнения результатов моделирования

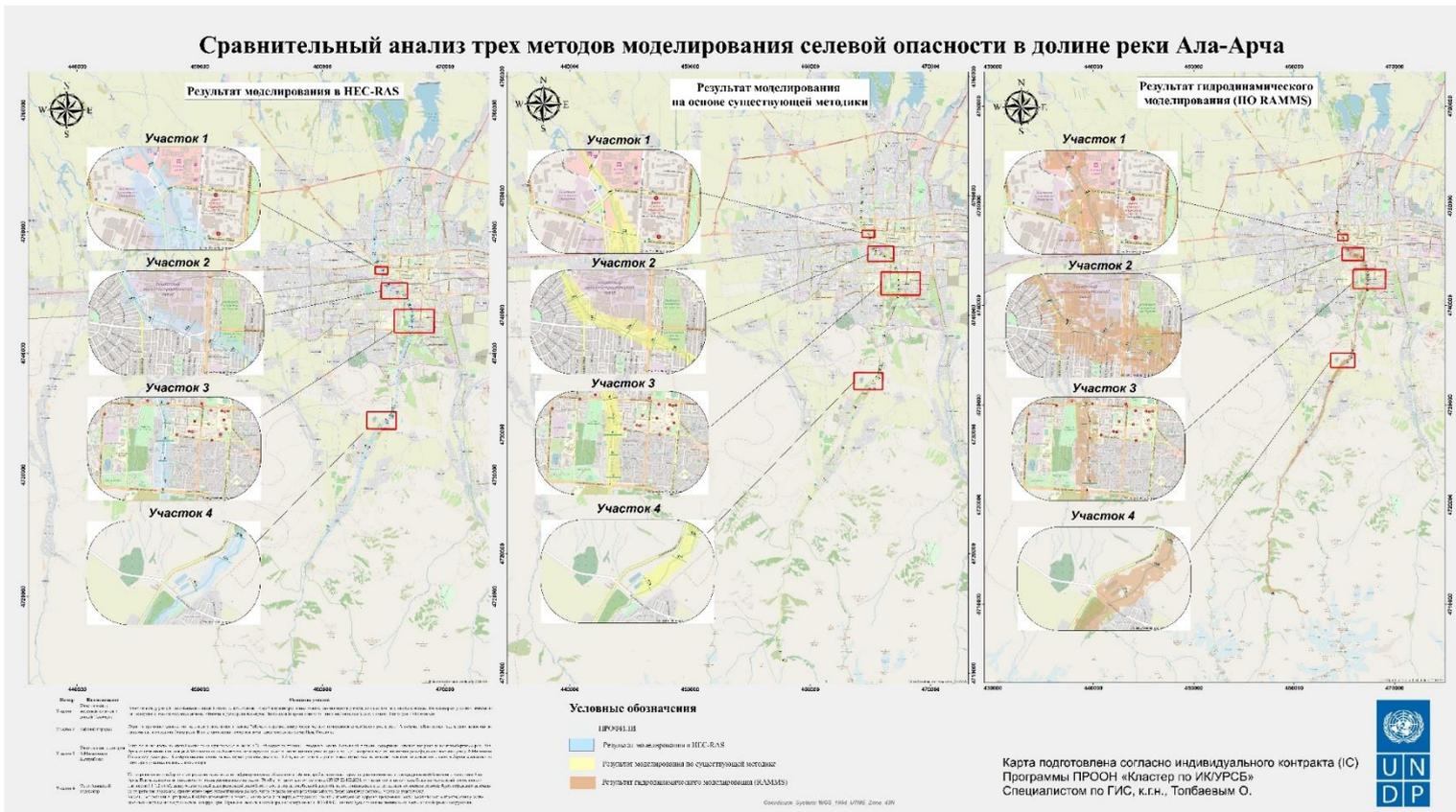


Рис. 4.12. Сравнение трех различных моделей

## Выводы по главе

Паводковые потоки в долине Ала-Арча характеризуются значительными колебаниями в расходе, который может варьироваться от 30 до 70 кубометров в секунду. Период наибольшей активности этих потоков приходится на время с апреля по сентябрь, причем пик вероятности паводков наблюдается в конце мая и в середине июля.

Селевые потоки в долине реки Ала-Арча могут быть классифицированы на три различных типа в зависимости от их происхождения, характеристик развития и уровня угрозы. Первый тип селевых потоков, характеризующихся расходом в несколько сотен кубических метров в секунду, образуется в долинах с существующим современным оледенением и значительным накоплением гляциальных отложений. Основной причиной таких сильных селевых потоков являются прорывы горных озер или внутриледниковых емкостей, при которых расход прорывного потока достигает критических значений. Такие условия характерны для долин Аксай и Адыгене, а также приближаются к ним в долинах Кашка-Су и Топ-Карагай. Особенно опасными эти селевые потоки становятся, когда существует угроза развития каскадных рисков, например блокировка русла временной плотиной и последующий прорыв. Дальнейший прорыв может также оказаться катастрофическим, что подчеркивает необходимость постоянного мониторинга и предпринятия соответствующих мер предосторожности для минимизации рисков и потенциальных убытков.

Селевые потоки второго типа с расходом в несколько десятков кубических метров в секунду формируются в долинах уже перечисленных в пункте 1 при прорывах горных озер и внутриледниковых емкостей. Однако при этом расход прорывного потока не превышает критический. Кроме того, в малых селеборных бассейнах могут образовываться потоки высокой плотности. Большое значение имеет наличие источников подпитки селевого потока. Современное оледенение в этих долинах незначительное и выражено либо в виде небольших склоновых ледников, либо в виде погребенного льда. Селевой процесс начинается с образования водного потока. Это происходит тогда, когда на процесс активного снеготаяния накладывается дождь ливневого характера. Обычно это случается в мае-июле. Одной из таких долин является Шаркыратма, наряду с долиной Теке-Тор.

В долинах без наличия существенного оледенения и большого количества рыхлообломочного материала, образуются сели III типа. Селевые потоки из таких долин как Мурат-Сай, Карагай-Булак не имеют достаточной мощности для перекрытия русла реки Ала-Арча, и поэтому не столь опасны как селевые потоки первого и второго типов. По данным многолетних наблюдений такие потоки могут образовываться в результате выпадения ливней более 30 мм за одно событие, также большое значение имеет интенсивность осадков.

Любой селевой поток сформированный в верховьях долины р. Ала-Арча, достигая резервуара, расположенного в селе Кашка-Суу, разгрузится непосредственно в него, и основная масса обломков осядет на дне водораспределителя (Рис.4.13), учитывая его ограниченную вмещающую способность, насыпная дамба водораспределителя может не выдержать и весь объем, переполнившись может прорвать вниз.

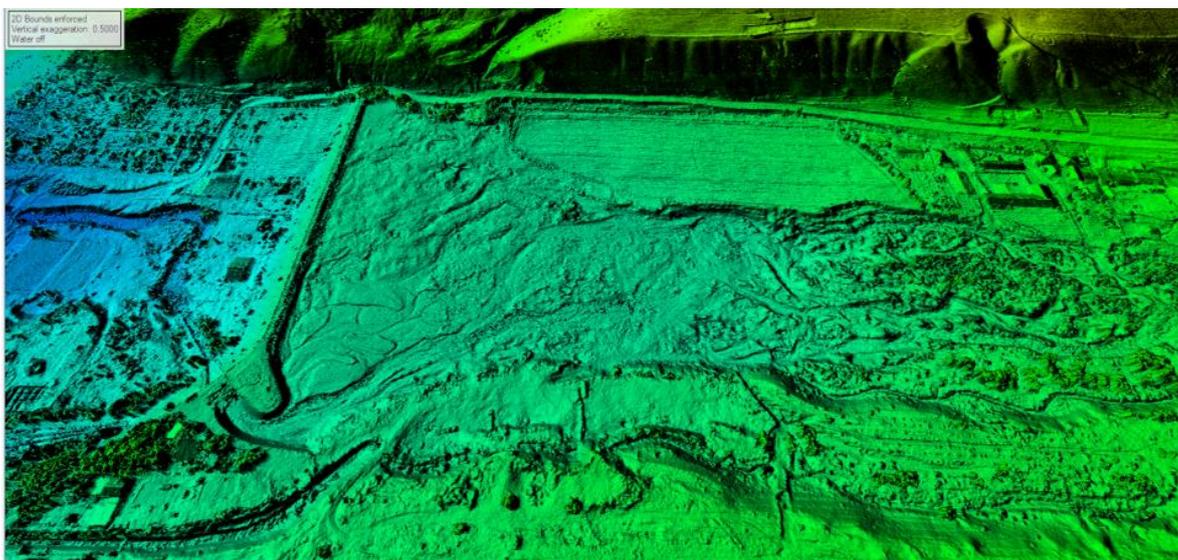


Рис. 4.13. Водораспределитель, с. Кашка-Суу

Максимальный вмещающий объем верхне по расчетам произведенными в программе Pix4D составил  $25 \times 10^3 \text{ м}^3$  (Рис.4.14).



Рис. 4.14. Расчет объема водораспределителя, с. Кашка-Суу

Самым рациональным и экономичным способом защиты от опасных потоков в горной и предгорной зонах является выбор безопасных участков. Такие участки находятся за пределами зон селевого и паводкового поражения. Однако площадь безопасных участков в этих зонах невелика, поэтому возникает необходимость использовать для жилья и хозяйственных участков, расположенные в зоне действия опасных потоков. В этих случаях необходимо предусмотреть защиту от них: 1) от селевых потоков путем строительства селехранилищ с мощными селеудерживающими плотинами и селенаправляющих дамб; 2) от наносоводных потоков и паводков путем строительства водосбросных, и водонаправляющих каналов, а также водохранилищ. Так для пропуска паводков по реке Ала-Арча необходимо довести пропускную способность её русла до 50-70 м<sup>3</sup>/сек путем обвалования и укрепления берегов, иначе будут затоплены 11 прибрежных участков по реке Ала-Арча. При формировании прорывного потока до города Бишкек (Рис.4.15) дойдет паводок, плотность которого будет достигать до 1,1 г/см<sup>3</sup>, такой наносоводный поток может нанести ущерб прибрежной инфраструктуре а также мостам. Учитывая что для многих сел расположенных вблизи Бишкека мосты являются критическим объектом инфраструктуры, необходимо прежде всего укрепить мосты и произвести очистки под ними для увеличения их пропускной способности.



Рис.4.15. Пример моделирования прорыва озера Аксай в программе RAMMS

По итогам всех выполненных мероприятий одним из главных результатов может являться разработка плана конкретных митигационных мероприятий, например увеличение и переоборудование БДР в селе Кашка-Суу в селехранилище, для защиты города Бишкек или обустройство дополнительного селехранилища перед водозаборным сооружением. Исполнение таких мер по снижению негативного воздействия селевых потоков окажет содействие в совершенствовании подходов, методологий и опыта, применения защитных мер в горных условиях Кыргызской Республики, а также создаст устойчивость и повысит потенциал вовлеченных ведомств.

## Глава 5. Палеоактивность селевых потоков Северного Тянь-Шаня

На сегодняшний день все более актуальной становится проблема увеличения количества и мощности селевых потоков в условиях изменения климата [48]. В северном Тянь-Шане ввиду отступления ледников образуются новые прорывоопасные озера а также меняются условия в высокогорной зоне [45]. Изменения в криосфере и ускоренное таяние вечной мерзлоты могут привести к новым вызовам и угрозам [81, 82]. Также весьма сложным представляется мониторинг процессов связанных с образованием каналов стока высокогорных озер и образования внутреледниковых емкостей [2, 3]. В зоне исследования одной из критических проблем является отсутствие достоверной информации о прошлых селевых потоках. Также под вопросом стоит происхождение селевых потоков (прорывного или ливневого генезиса).

Повышение температуры и изменения в режиме осадков также усиливают процесс таяния снега и ледников, что приводит к увеличению частоты и интенсивности стихийных бедствий. Современные исследования показывают, что эти изменения могут иметь долгосрочные последствия для экосистем и местного населения. С увеличением числа стихийных бедствий необходимо разработать эффективные меры мониторинга и профилактики, а также стратегии адаптации для снижения рисков и минимизации ущерба.

В данном исследовании особое внимание отведено анализу взаимосвязей между изменениями в ледниковой зоне, увеличению частоты и силы экстремальных ливневых осадков и селеформированию. Кроме того, исследуется вопрос того, как эти изменения способствуют возникновению селевых потоков, особенно тех, которые вызваны прорывами высокогорных озер, также известных как прорывы ледниковых озер (GLOF). Эти события могут иметь катастрофические последствия, и их понимание критически важно для разработки эффективных адаптационных стратегий.

Из-за того, что не хватает точных данных о прошлых селевых потоках, прогнозирование таких случаев на будущее становится довольно сложной задачей. Наш анализ включал в себя применение архивных материалов для детализации и анализа информации, которая была собрана. При отсутствии достоверных данных о масштабах, «мощности и размерах предыдущих селевых потоков невозможно с достаточной точностью оценить потенциальную опасность и разработать эффективные меры для минимизирования рисков, которые могут возникнуть в будущем в результате природных катастроф» [67]. Важно подчеркнуть, что важно проводить углубленное изучение ретроспективных событий и усиливать мониторинг изменений в криосфере [68]. Чтобы лучше прогнозировать будущие катастрофы критически важно как можно

больше иметь точных знаний и представлений о прошлых катастрофических событиях.

С помощью метода дендрогеморфологии осуществляется оценка селевой активности в исследуемом исследовании. Этот подход предполагал дендрохронологическую датировку кернов, которые были взяты с деревьев, которые подверглись влиянию селевых потоков [67]. На основе данных дендрохронологии можно точно определить возраст деревьев и период их повреждения, что поможет восстановить историю селевых потоков в данном регионе. Кроме того, мы исследуем изменения в ширине годичных колец и структуре древесины для выявления периодов интенсивного селевого потока, а также для того, чтобы связать их с климатическими условиями данного периода.

Таким образом, сочетание современных способов исследований и анализа исторических сведений о прошлых событиях дает возможность более подробно изучить влияние селевых потоков на окружающую среду и получить более полное представление о них. «Именно это может помогать при выборе наиболее эффективных и подходящих защитных мер, позволяющих минимизировать риски» [67, 68]. Этот метод позволяет более глубоко изучить прошлую активность селевых потоков и разделить долины по степени их селевой активности. Такой подход способствует более точному пониманию истории селевых потоков и улучшает точность прогнозов относительно будущих катастрофических событий, что важно для разработки и реализации мер по снижению рисков и уменьшению ущерба от потенциальных природных бедствий.

Наряду с дендрогеморфологической оценкой были изучены архивные материалы (статьи, отчеты, статистика МЧС КР, заключения обследований ДМПЧС при МЧС КР) по историческим прорывам, прошедшим в районе исследования.

### **Место исследования**

В рамках данного исследования была проведена тщательная работа в двух основных речных бассейнах центральной части Кыргызского хребта. Эти бассейны были выбраны из-за их значимости и представительности с точки зрения инженерно-геологических, гидрологических и экологических характеристик. Эти бассейны были выбраны в качестве модельных территорий для понимания более широких гидрологидинамических процессов, происходящих в регионе, и для разработки устойчивых подходов к построению системы реагирования и защиты от селевых потоков. В бас. реки Ала-Арча, координаты которого простираются с востока на запад от 74°24' в.д. до 74°34' в.д., а с севера на юг от 42°25' с.ш. до 42°42' с.ш. исследование охватывало боковые долины,

включая Аксай (обозначена на карте как 1), Адыгене (2), Текетор (3) и Топкарагай (4), соответствующие номерам 1, 2, 3 и 4 на карте, представленной на рисунке 1. В бассейне реки Аламедин, где координаты располагаются между  $74^{\circ}34'$  в.д. и  $74^{\circ}44'$  в.д. по долготе и между  $42^{\circ}25'$  с.ш. и  $42^{\circ}42'$  с.ш. по широте. В рамках этого бассейна исследования проводились в боковых долинах Кутургансуу (5) и Салык (6), которые на карте рисунка 1 обозначены номерами 5 и 6 соответственно.

Эти бассейны были выбраны ввиду их значительной геологической и экологической значимости, а также из-за их уязвимости к селевым потокам и другим гидрологическим процессам, что делает их крайне важными для изучения в контексте текущих климатических изменений.

На Рис.5.1 представлены места отбора проб для дендрохронологического анализа в долинах рек Ала-Арча и Аламедин.

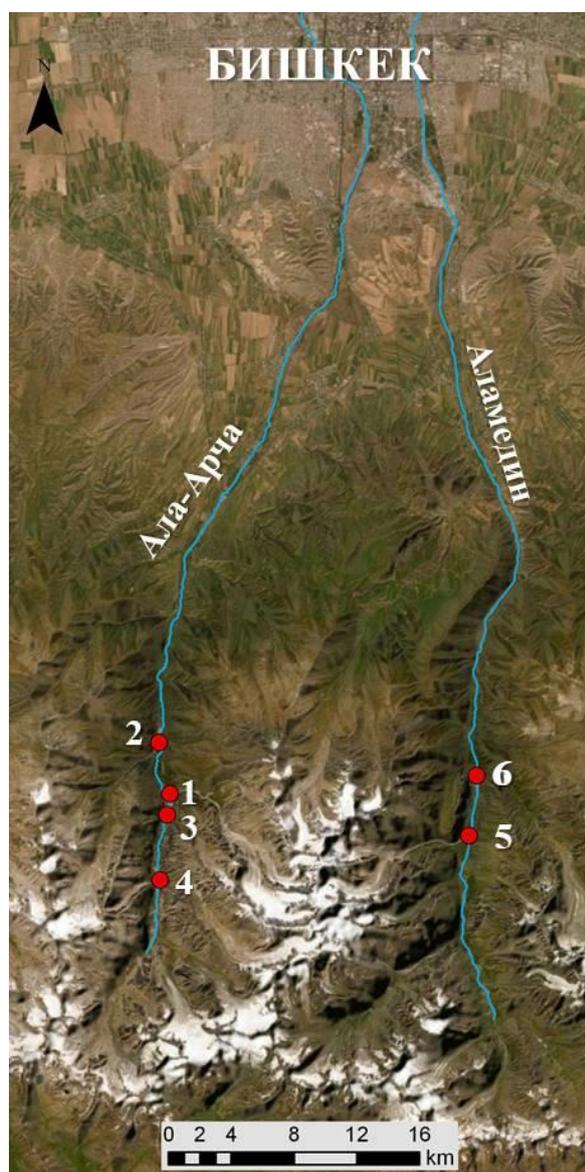


Рис.5.1. Долины рек Аламедин и Ала-Арча являются местами сбора образцов древесины

Исторические отчеты и данные гидрометрических наблюдений, который автор проводил в долине самостоятельно в период с 2008 по 2015 гг. говорят о том что расходы реки Ала-Арча могут меняться в диапазоне 10 - 30 кубических метров в секунду (во время наступления активно таяния ледников). Временной промежуток, когда наиболее вероятно проявление селевых потоков, начинается в апреле (в последние годы данный период сместился на май) и продолжается до конца сентября. Особенно высокий риск возникновения паводков отмечается в два периода: в последние недели мая и в конце июля, как показывают данные исследований [2, 20]. Кроме того, стоит отметить, что селевые потоки, протекавшие по долинам рек Ала-Арча и Аламедин, выделялись особой силой и значительными объемами воды. Эти потоки характеризовались не только высокой интенсивностью, но и значительной мощностью, что отражалось в их величине расхода. Такие условия повышают риск возникновения серьезных последствий от селевых потоков, включая повреждение инфраструктуры и угрозу жизни и здоровью людей в этих регионах.

Селевые потоки в долинах рек Ала-Арча и Алмедин разделяются на три основных типа:

Селевые потоки **первого типа** с расходом в несколько сотен кубических метров в секунду формируются в долинах, где сохранилось современное оледенение, где накопилась мощная толща гляциальных отложений. Причиной таких мощных селевых потоков являются прорывы горных озер или внутриледниковых емкостей. При этом расход прорывного потока превышает критический. Подобные селеобразующие условия складываются в долинах Аксай и Адыгене. Приближаются к ним долины Кашка-Су и Топ-Карагай. Перечисленные долины относятся к долинам с повышенным риском селеформирования. Из этих долин возможен выход селевого потока, который еще обусловлен риском, что он может перекрыть русло основной реки. На текущий период ущелье Салык (правый приток реки Аламедин) представляется единственным направлением, где возможно образование опасных высокогорных озер, также есть высокогорное озеро в безымянной долине, которое образовано в небольшой присклоновой депрессии и развивается за счет отступающего ледника.

3. Селевые потоки второго типа с расходом в несколько десятков кубических метров в секунду формируются в долинах уже перечисленных в пункте 1 при прорывах горных озер и внутриледниковых емкостей. Однако при этом расход прорывного потока не превышает критический. Также, в малых

долинах (с площадью от 1 до 5 км<sup>2</sup>) могут образовываться селевые потоки с похожим расходом. В этих местах сконцентрировано большое количество рыхлого материала или так называемых селеформирующих отложений, в том числе гляциальных фаций. [6, 7]. Современное оледенение в этих долинах незначительное и выражено либо в виде небольших склоновых ледников, либо в виде погребенного льда. Селевой процесс начинается с образования водного потока. Это происходит тогда, когда на процесс активного снеготаяния накладывается дождь ливневого характера. Обычно это случается в мае-июле. В результате формируется довольно мощный водный поток расходом 5-10 м<sup>3</sup>/с, который при движении вниз по долине прорывает все снежно-лавинные завалы на днище долины, обогащается СФО и трансформируется в селевой. Когда селевой поток достигает главной долины, он может образовать временную плотину, блокируя течение реки Ала-Арча. Если такая плотина внезапно разрушится, это может привести к разрушительным и опасным последствиям. Долины, подверженные таким явлениям, включают, но не ограничиваются ими, Шаркыратма, Теке-Тор и Кутургансуу. Эти места являются потенциальными точками возникновения селевых потоков, которые могут вызвать серьезные последствия для окружающей среды и безопасности населения, находящегося в зоне риска.

4. Селевые потоки третьего типа с расходом в несколько кубических метров в секунду формируются в долинах, где нет современного оледенения и значительных скоплений СФО. В таких долинах формируются потоки ливневого генезиса. Такие условия характерны для долин: Бойрок, Кадырберды, Кунтыбес, Карагайбулак, Муратсай и в долине Ашутор. Селевые потоки из этих долин не имеют достаточной мощности для перекрытия русел рек Ала-Арча и Аламедин, и поэтому не столь опасны как селевые потоки первого и второго типов.

Не смотря на то, что потоки в результате прохождения ливней являются менее распространенными по площади и зоны поражения от них гораздо меньше в сопоставлении с прорывными потоками, которые чаще бывают катастрофическими. Частота прохождения и повторяемость таких потоков намного выше. Существует опасность, связанная с их большим количеством и частотой прохождения. Даже в небольших селеборных бассейнах ( $S \leq 1 \text{ км}^2$ ) могут формироваться потоки большой мощности. При формировании потоков в различных высотных зонах, следует учитывать их плотность и концентрацию твердого материала. Так селевые потоки гляциальной зоны, как правило имеют максимальную плотность и насыщенность, однако они могут обратно трансформироваться в наносоводные потоки в предгорной зоне. Соответственно они теряют свою мощность при выходе в долину. На Рис. 5.2 показано деление на зоны, на примере долин Кыргызского хребта.

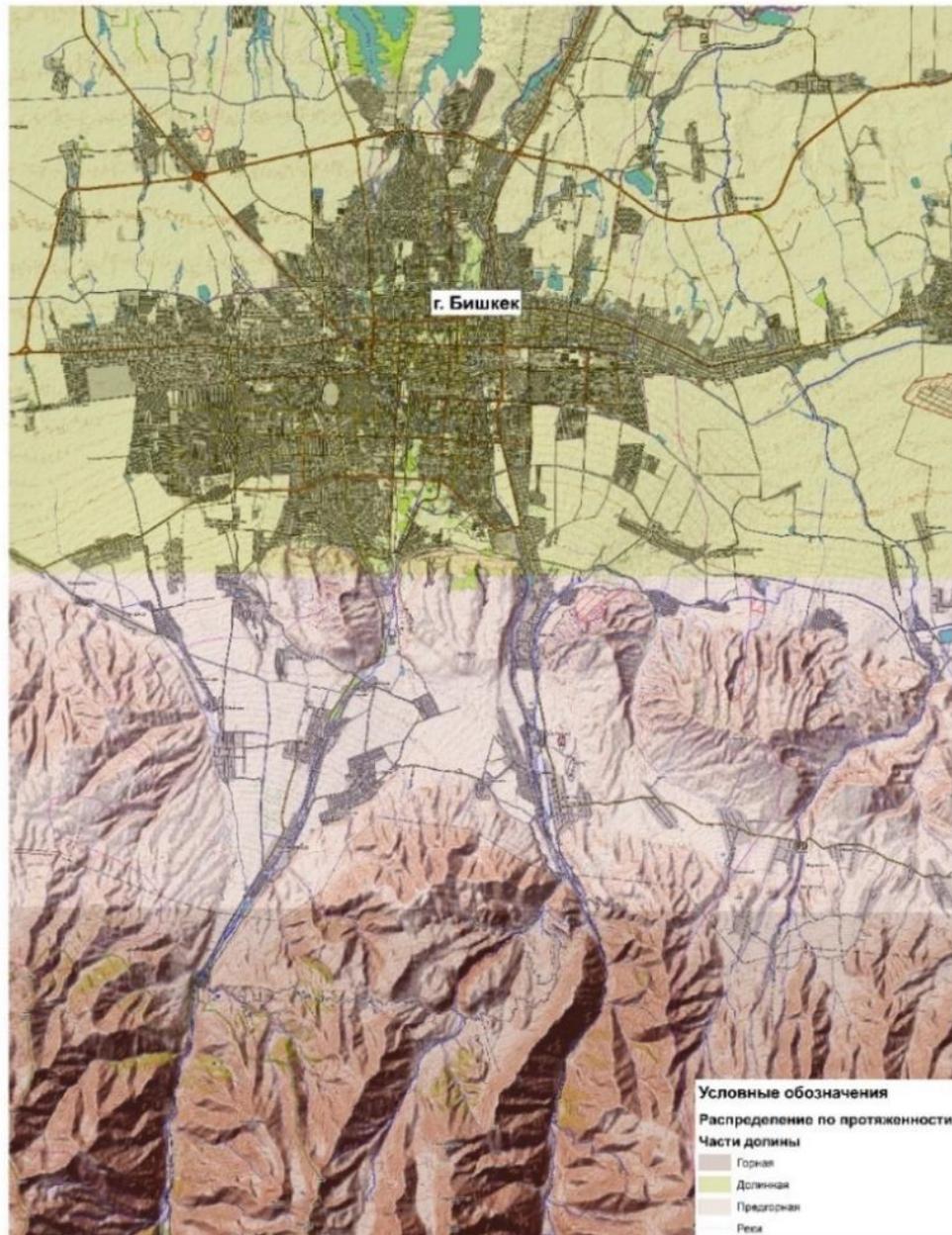


Рис.5.2. Высотное распределение для долин Ала-Арча и Аламедин

### 5.1. Селеформирование в долинах рек Ала-Арча и Аламедин

Анализ исторических данных предыдущих селевых потоков дает лучшее понимание для выбора исходных параметров, в том числе необходимых для моделирования.

Во время последних GLOF-событий в долине Ала-Арча (Тезтор, 2012; Аксай, 2015) была частично разрушена дорога и повреждено несколько временных построек на Аксайском конусе, а на Тезторском направлении был разрушен водопровод частной компании разливающей ледниковую питьевую воду. Дальнейшие крупные селевые потоки могут перестроить русло реки Аксай

и активизировать другие (более древние) русла с негативными последствиями для новых зданий и парковочной зоны для туристов в центральной части Аксайского селевого конуса выноса. Также не исключается блокировка русла реки Ала-Арча, как это было при прохождении исторических мощных селей (1968, 1969 – Аксай и 1953 – Адыгене/Тезтор).

«На южном склоне центральной части Кыргызского хребта, расположена долина реки Ала-Арча, которая имеет очень высокую степень риска возникновения селевых потоков, гляциального происхождения» [33, 34]. Установлено, что существует целый ряд причин, которые способствуют генерации селей. При этом, в качестве основных факторов можно назвать значительные ледники и присутствие высокогорных озер с возможностью прорыва, а также глубокий раздроблённый и резкий рельеф. Также большое влияние оказывает литологический и геологоморфологический фактор, заключающийся в наличии рыхлообломочного материала. Эти обстоятельства создают идеальные условия для формирования крупных селевых потоков. Это было зафиксировано в исторических архивных данных, предоставленных [24-26] и также было запечатлено на снимках по результатам селевой съемки, проведенной несколькими годами позже. Селевой поток насыщаясь обломочным материалом в разы увеличил свой расход, «высота волны при это доходила до 4 метра, у поворотах и изгибах русла реки наблюдались валы высотой до 8 метров» [36]. «Камни, перемещаемые этим потоком, были столь большими, что могли выбрасываться на дистанцию более пяти метров от основного русла реки, при этом перемещая огромные валуны, их объем достигал 25-30 кубических метров» [36], данные отложения до сих пор расположены в западной части конуса выноса и занесены более свежими селевыми генерациями.

Одним из заметных проявлений силы селевого потока был его выход из боковой долины Адыгене прямо в долину реки Ала-Арча. Это событие привело к образованию обширного конуса выноса в устье долины. В ходе события был уничтожен лес, русло реки было перекрыто временной дамбой. Данная долина и на данный момент времени имеет большую вероятность возникновения селевых потоков, что подчеркивает потенциальную опасность и угрозу для современной инфраструктуры Алаарчинского парка. Стоит отметить, что не все случаи прорывов горных озер приводят к трансформации потока в селевой поток. Таких примеров в долине Адыгене было несколько. Озеро Тез-Тор наполнилось вновь в 1988, это было то же озеро что прорвало в 1953. «Его объем составил 150 000 м<sup>3</sup> и превысил объем озера в 1953 году (80 000 м<sup>3</sup>). Случивший прорыв произошел плавно, в течение нескольких дней. Однако прорыв не вызвал селя, он всего лишь повысил расход воды в главной реке Алаарча, примерно на 8-10 м<sup>3</sup>/сек» [13]. Другой пример, прорыв озера Тез-Тор в 2019 году, так же не привел

к трансформации потока в селевой, так как был постепенным в течение нескольких дней по подземным каналам стока. Долина реки Аксай (правый приток реки Алаарча), расположена в туристическом месте и представляет собой слияние двух рек Шаркыратма и Аксай, данное место стало местом формирования большого конуса выноса, на котором на данный момент построены различные объекты парка, также данный конус является местом отдыха многочисленных туристов посещающих парк. Как по размерам, так и по объемам перенесенных обломков, этот конус кажется самым большим в данном регионе. «Объем составляет 11600 тыс. м<sup>3</sup>, что подтверждается многочисленными экспедициями и научными работами» [21]. Селевым очагом в долине Аксай является средняя часть долины, где сконцентрировано большое количество рыхлообломочного материала. Эти потоки не только представляли серьезную опасность для близлежащих территорий, но и вносили значительные изменения в ландшафт и геологическую структуру данной местности. Такие события подчеркивают важность мониторинга и прогнозирования селевых потоков в горных регионах, особенно в контексте изменения климата и гидрологических условий.

Таблица 5.1. Наиболее катастрофические прорывы в бассейне р.Ала-Арча

Название озера	Координаты	Дата прорыва
<b>Аксай</b> (внутреледниковая емкость)	N 42.525728 E 74.532342	8.07.1960; 07.1961; 21.07.1965; 18.08.1966; 24.07.1968; 25.07.1969; 18.07.1970; 2.08.1970; 13.07.75, 03.08.80
<b>Аксай (под ледников Учитель)</b>	N 42.527843 E 74.540423	15.08.2015
<b>Тезтор-1</b>	N 42.537151 E 74.431180	22.06.1953; 8.1988
<b>Тезтор-2</b>	N 42.536686 E 74.427205	31.07.2012
<b>Топ-Карагай</b>	N 42.499863 E 74.510879	10.07.1974; 07.08.1993

Аксайское подледниковое озеро образуется во внутреледниковых полостях Аксайского ледника. Такие емкости практически не проявляются на поверхности ледника, за исключением выдающихся емкостей, которые способны появляться на поверхности ледника [26]. В Табл. 5.1 приведены даты всех прорывов, в том числе и из внутреледниковых емкостей. Во время события 1969 года было три жертвы, которые гуляли возле реки. Все мощные события происходили в 60-е годы, в зависимости от активности ледников. В какой то мере в прошлом язык

ледника препятствовал естественному дренажу талых вод и способствовал аккумуляции воды в полостях. В результате деградации ледника и утончению языковой части, вода перестала задерживаться и стала беспрепятственно стекать с ледника.

В долине реки Аламедин зафиксированных исторических прорывов не было, но данные палеоселевой реконструкции позволили восстановить историю прохождения селей и паводков. На Рис.5.3 приведен анализ аэрофто и космоснимков, где заметны изменения на конусах, Адыгене и Аксай, связанные с селевой активностью.

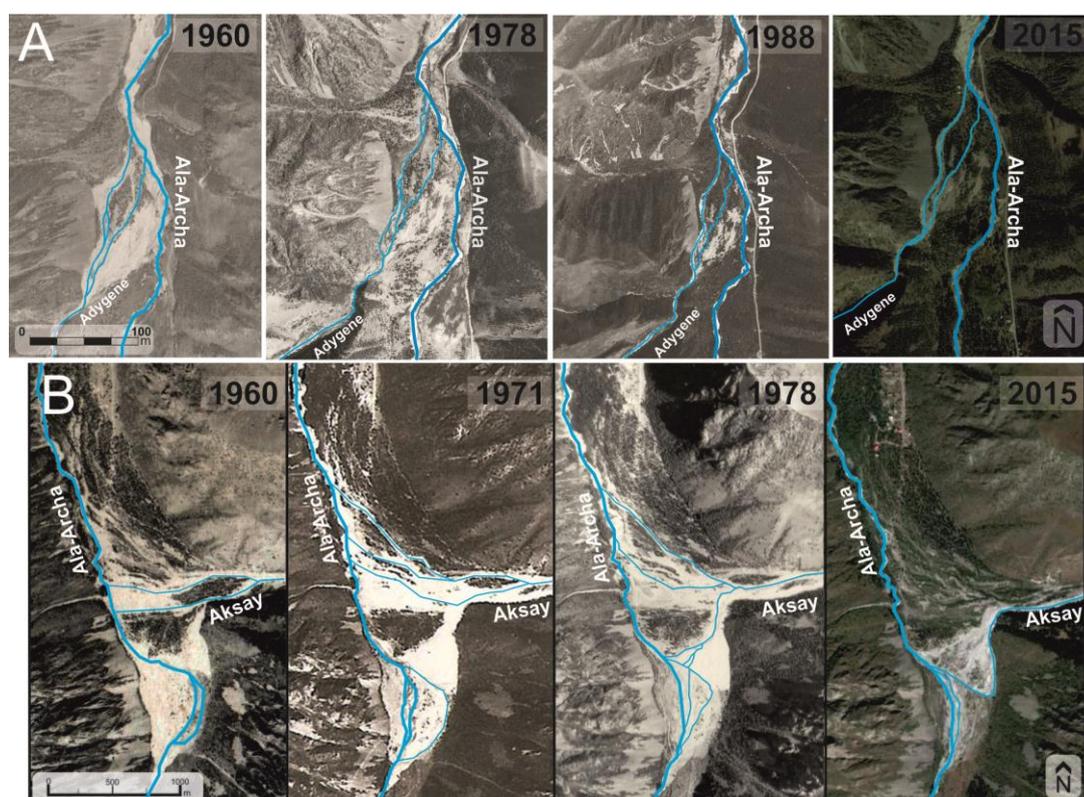


Рис.5.3. Геоморфологические изменения на активных конусах выноса (А) Адыгене и Аксай (В)

Таблица 5.2. Характеристики высокогорных озер

Номер озера	Название	Характеристики			Год	Источник данных
		$S, m^2$ площадь	$V, m^3$ объем	$H_{max}, m$ глубина		
Т1	Тезтор-1	$6.9 \times 10^3$	$25.2 \times 10^3$	3.6	2003	ККГТЭ
		$8.4 \times 10^3$	$30.2 \times 10^3$	5.6	1994	
		-	$150 \times 10^3$	-	1988	
		-	$80 \times 10^3$	-	1953	
Т2	Тезтор -2	$11.5 \times 10^3$	$74 \times 10^3$	-	2012	ККГТЭ

		-	$70 \times 10^3$	-	2009	
		-	$50 \times 10^3$	-	2005	
Ак	Аксай (под ледником Учитель)	$11.7 \times 10^3$	$85 \times 10^3$	13.8	2023	МЧС КР
		$3.8 \times 10^3$	$27.1 \times 10^3$	12	2016	
		$3.7 \times 10^3$	$26.7 \times 10^3$	12.1	2010	
То	Топкарагай	$46 \times 10^3$	$160 \times 10^3$	10.7	1993	ИВП и ГЭ
		$42 \times 10^3$	$130 \times 10^3$	10.9	1990	
Ad1	Адыгене - 1	32.5	$210 \times 10^3$	22.5	2023	ККГГЭ
		32.6	$205 \times 10^3$	21.5	2021	ИВП и ГЭ
		32	$212 \times 10^3$	22.1	2019	МЧС КР
		32.7	$208 \times 10^3$	21.6	2010	
Ad2	Адыгене - 2	25	155	12.9	2023	ИВП и ГЭ
		24.1	151	13.8	2021	МЧС КР
		19.9	130	13.5	2019	
		-	$10^3$	3.8	2007	

В небольших боковых долинах и саях после интенсивных ливней часто образуются селевые потоки. Большой угрозы они не представляют, так как не имеют достаточной мощности для перекрытия реки Ала-Арча. Однако опасность их действия следует учитывать при строительстве автодорог и кемпингов, проложении туристических троп.

Действие обвалов, камнепадов проявляется в высокогорной зоне долины Ала-Арча и является дополнительным источником питания селей. Оползневые процессы на склонах долины пока не проявляются. Сохранились следы древних оползневых очагов. Активизация оползневых процессов в долине может быть вызвана только сильными землетрясениями.

Схожие условия сохранились и в долинах реки Аламедин, основными источниками обломочного материала являются эрозионные очаги, места обвалов и камнепадов.

Для реки Аламедин и ее боковых приток геоморфологические изменения не такие сильные и заметны только при анализе архивных снимков (Рис.5.4).

Данные Таблицы 5.2 были также использованы в построении моделей для приложения 4.

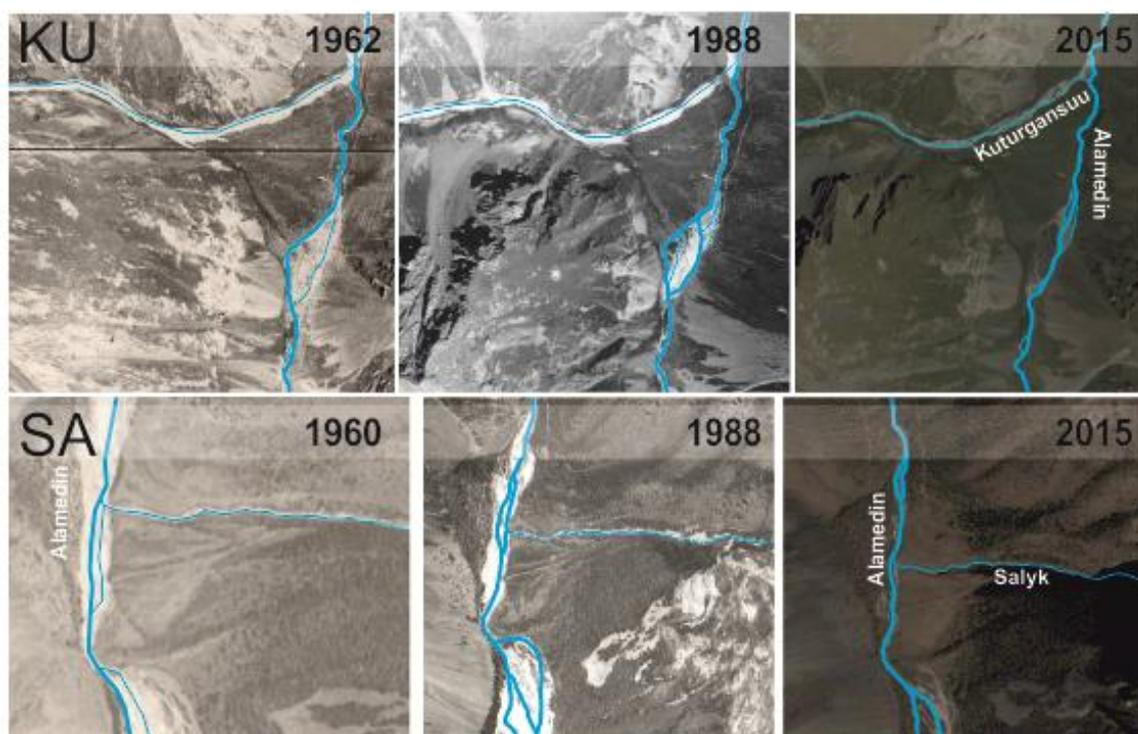


Рис.5.4. Изменение конусов выноса в долине реки Аламедин. КУ – Кутургансуу, SA - Салык

Как видно из Рис. 5.4, за последние 60 лет значительных изменений на конусе не наблюдается. Отсюда следует, что все потоки проходившие по боковым саям (левый приток – Кутургансуу, правый приток – Салык) помещались в основное русло

В 2003 г. 21 июля селевой поток с расходом в устье долины около 50-60 м<sup>3</sup>/сек разрушил дачные поселки в правой части конуса выноса реки Кашкасу и по левобережью реки Ала-Арча, по данным МЧС КР были полностью разрушены свыше 25 домов в дачном поселке Академии наук (выше села Кашка-Суу). Около 30 процентов строений на этих участках “были занесены селевым материалом. Учитывая высокую плотность потока, диаметр переносимых обломков достигал до 1 метра. Селевым потоком было снесено 6 мостов через реку Ала-Арча, разрушены линии электропередачи, дорога в Национальном природном парк Ала-Арча (Рис.5.5-5.6).



Рис. 5.5. Селевой поток ливневого типа в долине реки Ала-Арча сформировал 23 июля 2003г паводок, расход которого в пределах города Бишкек достигал 40-45 м<sup>3</sup>/с. (фото Ерохин С.А.)



Рис 5.6. Разрушение дачных домов паводковыми и селевыми потоками в 2003 и 2005 годах (фото Ерохин С.А.)

## 5.2. Проведение дендрохнологического анализа

В рамках исследования были отобраны устьевые участки боковых долин, которые характеризуются конусами выноса, покрытыми лесной растительностью. Для анализа были взяты образцы с: “*Picea Tien-Shan*”, “*Juniperus pseudosabina*”, “*Betula turkestanicus*”, береза в основном произростала

на более свежих молодых генерациях отложений Эти виды произрастают на относительно свежие отложения потоков вышедших из боковых долин Аламедин и Ала-Арчи.

Входе отбора образцов древесины особое внимание уделялось деревьям, которые не подвергались антропогенному воздействию, а были повреждены в результате прохождения селей. Полученные данные могут заполнить недостающие пробелы в данных о прошлых катастрофических событиях. Это, в свою очередь, может помочь в понимании экосистемных изменений и в оценке воздействия природных катастроф на лесные сообщества.

При проведении дендрогеоморфологического исследования внимание уделялось шрамам на дереве которые могли быть нанесены дереву в ходе события по касательной траектории [67, 68]. Для точной фиксации мест отбора образцов использовались современные методы геолокации и документирования. Каждое место отбора было зарегистрировано с помощью GPS-приемника, что обеспечивало высокую точность определения координат. В дополнение к этому проводилась фотографическая фиксация каждого места отбора. Фотофиксация мест расположения поврежденных деревьев позволяла не только визуально запечатлеть образцы и их местоположение. Для всех отобранных образцов был создан реестр проб, содержащий координаты расположения деревьев, его фотография и обозначение направления удара.



Рис.5.5. Процесс дендрогеоморфологического полевого исследования

В таблице 5.3 приведено количество отобранных образцов по всем долинам рек Ала-Арча и Аламедин, всего отобрано 403 керна для лабораторного анализа.

Таблица 5.3. Отбор образцов по долинам

Долина	Бассейн реки	Количество образцов	Год отбора
Аксай	Ала-Арча	96	2014
Адыгене	Ала-Арча	60	2014
Текетор	Ала-Арча	77	2014
Топкарагай	Ала-Арча	50	2014
Салык	Аламедин	52	2015

Анализ всех образцов проводился по стандартной методике описанной в Главе 2.

Дополнительный анализ геоморфологических особенностей был проведен по историческим и современным снимкам. Это предоставило ценные сведения о частоте и интенсивности селевых процессов в исследуемых регионах, что важно для понимания динамики изменения ландшафта и оценки рисков для местных экосистем.

Анализа Таблицы 5.1 доказывает что самая селеактивная долина была Аксай (Ала-Арча), где было зафиксировано 28 селевых потоков, в долине Кутургансуу (Аламедин) восстановлено 18 исторических селей, однако открытым остается вопрос генезиса данных потоков. В долине реки Адыгене, зафиксировано 9 потоков, три из которых это прорывы тездорских озер, более ранние годы также могут указывать на возможные прорывы. По долинам Салык и Топкарагай восстановлено по 6 селевых потоков, однако селевая активность в этих долинах закончилась 30-40 лет назад.

Таблица 5.1. Годы прохождения селевых потоков

Долина	Боковая долина	Годы селевых потоков	Количество лет с селевыми проявлениями
Ала-Арча	Аксай	1877, 1885, 1916, 1918, 1922, 1924, 1928, 1934, 1936, 1941, 1943, 1950, 1955, 1960*, 1961*, 1965*, 1966*, 1968*, 1969*, 1970*, 1973, 1975, 1977, 1980*, 1993, 1999*, 2003, 2015*	28
	Адыгене	1910; 1934, 1953*, 1966, 1980, 1982; 1988*, 1993, 2012*	9
	Текетор	1900, 1946, 1953, 1958, 1959, 1961, 1973, 1968, 1978, 1980, 2003	11
	Топкарагай	1928, 1953, 1968, 1974*, 1988, 1993*	6
Аламедин	Кутургансуу	1846, 1882, 1885, 1902, 1904, 1928, 1956, 1958, 1966, 1980, 1982, 1984, 1988, 1993, 1999, 2000, 2003, 2010	18
	Салык	1938, 1956, 1961, 1970, 1975, 1980	6

\* - селевые потоки которые вошли в статистику МЧС КР

Для построения графика (Рис.5.6) были использованы данные Таблицы 5.1. Как видно, наибольшая активность наблюдается в десятилетие начиная с 1960 года. Рост активности мог быть обусловлен рядом факторов, включая климатические изменения, увеличение осадков и изменения в ландшафте, вызванные человеческой деятельностью. Эта тенденция подчеркивает значимость мониторинга и анализа селевых потоков в контексте изменения природных условий и человеческого воздействия на окружающую среду.

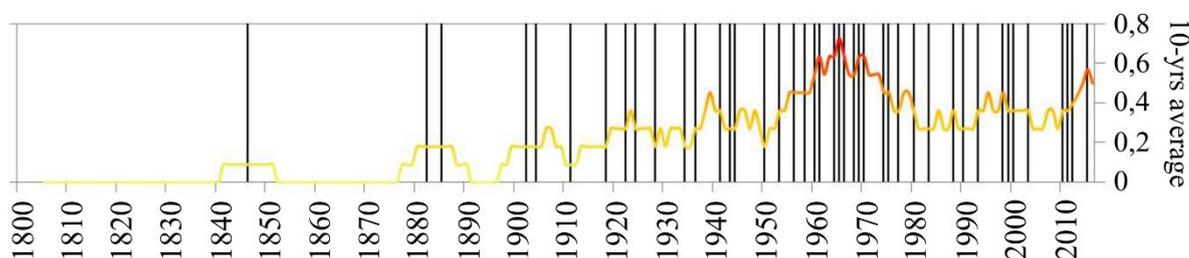


Рис. 5.6. Реконструкция годов прохождения потоков

Изменение в активности и ее спад, конечно могут быть связаны с деградацией оледенения и изменением локальных климатических условий. На рис. 5.7 потоки разделены на декады для лучшего понимания тенденций, а также был произведен подсчет коэффициента годовой селевой активности, если в период от 1900 до 1920 года коэффициент составлял 0.2 события в год и это было связано с ограничением в виду отсутствия более старых деревьев. В текущее десятилетие активность упала до 0.3 и это больше связано с климатическими изменениями.

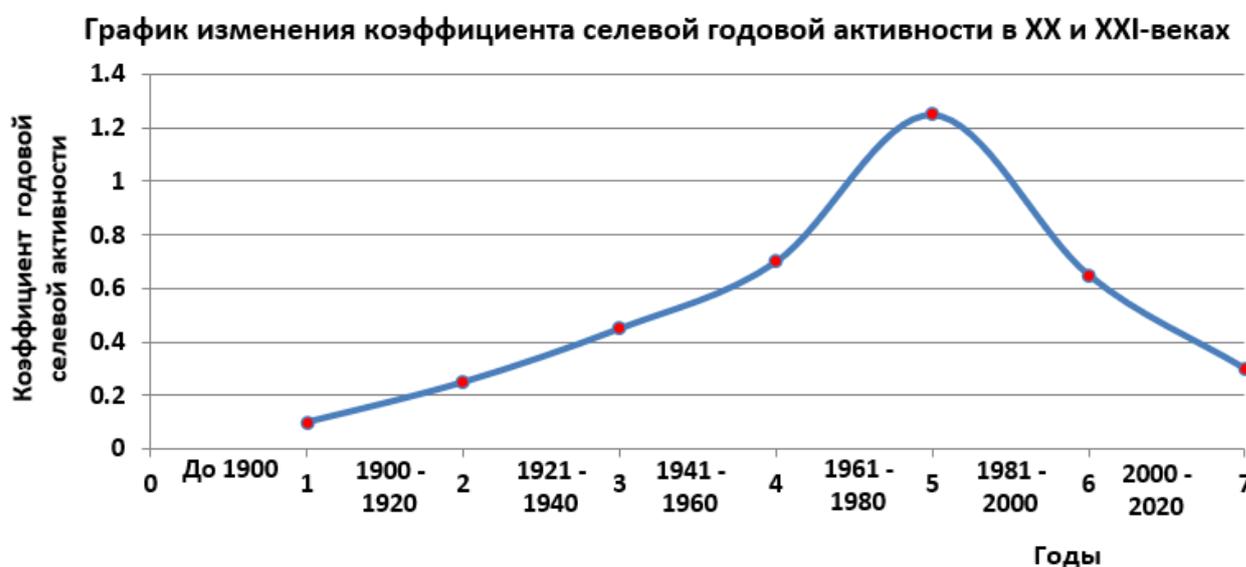


Рис. 5.7. Реконструкция годов прохождения потоков

В данной работе исследуются изменения в селевой активности за последние столетия. На протяжении XX и начала XXI веков, селевая активность

испытывала подъем и спад. В дополнение к этому, проанализирована архивная база данных прорывов высокогорных озер (GLOF) и внутриледниковых емкостей (таблица 5.2), составленной Ерохиным С.А. и Загинаевым В.В.

По результатам проведенной выборки, и данных приведенных в табл. 5.2 и 5.3, можно заключить, что большинство селей в долине реки Аксай имеет гляциальное происхождение.

В Таблице 5.3 приведен анализ реконструированных потоков и их разделение по генезису, для данного анализа помимо исторических подтверждений использовался параметр – сезонности, которая проявляется в виде ранений в определенном месте годичного кольца деревьев. Таким образом, в долинах рек Ала-Арча и Аламедин, преобладали потоки гляциального характера над потоками ливневого генезиса, это напрямую связано с деградацией оледенения и развитием моренно-ледниковых комплексов.

Таблица 5.2. Подробная характеристика исторических прорывов

Озеро	Речной бассейн	Тип озера	Год и месяц прорыва	Объем озера, тыс. м <sup>3</sup>	Механизм прорыва	Расход прорывного потока, м <sup>3</sup> /с
Тез-Тор	Ала-Арча	м-л	1953 июнь	80	подземн.	21
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1960 июль	40-50	подземн.	20-30
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1961 июль	50	подземн.	30
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1965 август	50	подземн.	20
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1966 июнь	40-50	подземн.	20-30
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1968 июль	50-60	подземн.	30
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1969 июль	50-60	подземн.	40
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1970 июль, август	30-40	подземн.	10-20
Топ-Карагай	Ала-Арча	м-л	1974	около300	подземн.	6
Ак-Сай	Ала-Арча	л	1980 август	30-40	подземн.	5-10
Тез-Тор	Ала-Арча	м-л	1988 август	150	подземн.	14
Топ-Карагай	Ала-Арча	м-л	1993 август	160	подземн.	5-8
Тезтор	Ала-Арча	м-л	2005	60	подземн.	8
Тезтор	Ала-Арча	м-л	2012 июль	70	подземн.	27

м-л – моренно-ледниковое; л – ледниковое;

Таблица 5.3. Дифференциация потоков по генезису

Долина	Боковая долина	Количество зафиксированных селевых потоков	Количество гляциальных селевых потоков		Количество ливневых селевых потоков	
			число случаев	% от общего числа	число случаев	% от общего числа
Алаарча	Аксай	28	18	64	10	36
	Адыгене	9	5	56	4	44
	Текетор	11	6	55	5	45
	Топкарагай	6	3	50	3	50
Аламедин	Кутургансу	18	16	89	2	11
	Салык	6	3	50	3	50

Таблица 5.4. Расчет коэффициента селевой активности

Годы	Количество деревьев поврежденных селевыми потоками в разные годы по конусам выноса рек					
	Салык	Кутургансу	Аксай	Адыгене	Текетор	Топкарагай
2015			3			
2012				8		
2010		5				
2003		10	4		12	
2000		3				
1999		11	7			
1993		13	6	8		2
1988		6		12		3
1984		2				
1982		3		2		
1980	5	10	25	5	13	
1978					2	
1977			4			
1975	3		6		3	
1974						5
1973			5			
1970	2		14			
1969			14			
1968			9		10	3
1966		3	7	3		
1965			8			
1961	8		6		2	
1960			19			
1959					4	
1958		3			8	
1956	3	2				
1955			8			
1953				8	5	4
1950			5			
1946					6	
1943			4			
1941			7			
1938	3					
1936			11			
1934			9	5		
1928		2	17			3
1924			10			
1922			9			
1918			3			
1916			2			
1910				2		
1904		2				
1902		4				
1900					1	
1885		2	4			
1877			1			
1882		2				
1846		1				
Всего лет	6	18	28	9	11	6
<b>Коэффициент годовой селевой активности</b>	$K=6/115=0,05$	$K=15/115=0,13$	$K=26/115=0,23$	$K=9/115=0,08$	$K=11/115=0,10$	$K=6/115=0,05$

Очень важно оценить как оледенение повлияло на селевую активность в прошлом и может оказать влияние в будущем. Для оценки состояния оледенения мы использовали отношение открытой части ледника к заморененной. Данные были использованы как исторические (каталог ледников СССР) так и данные дистанционного зондирования (космоснимки 2018-2019).

Дендрохронологический метод заключается в изучении годичных колец деревьев, расположенных в устьевых частях долин. Годичные кольца деревьев

могут содержать ценную информацию о прошлых событиях селевых потоков, так как они фиксируют изменения в окружающей среде, которые оказывают влияние на рост и развитие деревьев. Изучение этих колец позволяет ученым определять годы и даже сезоны, когда происходили значительные селевые события, тем самым обеспечивая более глубокое понимание частоты и интенсивности селевой активности в различных долинах на протяжении многих лет. Этот метод предоставляет ключевые данные для оценки влияния климатических и экологических изменений на динамику селевых потоков. Данные анализа, представленные в таблице 5.4, включают изучение годовых колец деревьев, что позволяет получить информацию о прошлых селевых событиях, их интенсивности и частоте. Таким образом, сочетание дендрохронологических данных с информацией о деградации ледников дает возможность более полного и точного понимания динамики селевых процессов в современных условиях.

В результате подробного изучения данных Таблицы 5.4, представленных в таблице, было возможно классифицировать и упорядочить обследованные долины в соответствии с их селевой активностью.

Данные приведенные на Рис 5.7 представляют визуализацию данных таблицы 5.4. Это распределение учитывает не только частоту и объем селевых потоков, но и их потенциальную опасность для окружающих территорий.



Рис. 5.7. Коэффициент селевой активности в обследованных долинах

Для оценки изменений в оледенении использовались данные о размерах ледников, зафиксированные в Каталоге ледников СССР, опубликованном в 1973 году. Этот каталог представлял собой фундаментальное исследование, которое давало подробную картину оледенения на тот момент. Однако, с течением времени, в течение последующих 50 лет, процесс деградации ледников привёл к значительному уменьшению их площади. В результате, для того чтобы понять

современное состояние ледников, стало необходимо сравнить данные из Каталога с актуальной информацией.

Для получения современных данных о состоянии ледников были использованы космические снимки, сделанные в период с 2015 по 2020 годы, и проанализированы с помощью системы Google Earth®. Этот подход позволил не только определить текущую площадь открытой части ледников, но и оценить степень их замороженности.

Результаты этого анализа были систематизированы и представлены в таблице 5.5. Таким образом, сравнение данных из Каталога ледников СССР с современными космоснимками дало возможность оценить степень деградации оледенения в каждой из обследованных долин. Эта информация является ключевой для понимания текущих изменений в ледниковых системах и их влияния на гидрологические и геоморфологические процессы в горных районах, включая формирование селевых потоков и изменение гидрологического режима.

Таблица 5.5. Коэффициент селевой активности

Долина	Боковая долина	Коэффициент годовой селевой активности	Площадь оледенения по каталогу ледников 1973г		
			Всего, км <sup>2</sup>	Открытая часть, %	Закрытая часть, %
Ала-Арча	Аксай	0,24	8,5	89	11
	Адыгене	0,08	8,2	73	27
	Текетор	0,10	0,8	75	25
	Топкарагай	0,05	6,4	71	29
Аламедин	Кутургансу	0,13	4,7	81	19
	Салык	0,05	9,4	69	31

На основе анализа данных, представленных в таблице 5.5, было проведено детальное исследование, результаты которого были представлены в виде графиков на рисунках 5.8 и 5.9. Графики наглядно демонстрируют связь между годовым коэффициентом селевой активности в долине и соотношением между открытыми и закрытыми участками ледника. Анализ показывает, что с увеличением площади открытых участков ледников в долине возрастает и селевая активность. Это указывает на прямую корреляцию между степенью оледенения долины и интенсивностью селевых потоков, что может быть связано с динамикой таяния ледников и образования водных потоков. Таким образом, данные графики обеспечивают важное понимание взаимодействия между климатическими изменениями, состоянием ледников и селевой активностью в горных районах. С другой стороны, увеличение доли замороженной части

ледников, указывающее на их деградацию, сопровождается снижением селевой активности.

Это открытие подчеркивает тесную связь между состоянием ледников и геоморфологическими процессами в долинах. Увеличение открытой площади ледников обычно сопровождается повышенным таянием ледника, что ведет к увеличению объема воды, стекающей вниз по склонам, и, следовательно, к усилению селевых потоков. Наоборот, «сокращение открытой площади и увеличение заморенной части ледников указывает на уменьшение объема талых вод и, как следствие, на снижение селевой активности» [108].

Таким образом, эти данные не только демонстрируют зависимость селевой активности от состояния ледников, но и предоставляют важную информацию для прогнозирования будущих изменений в селевых потоках.

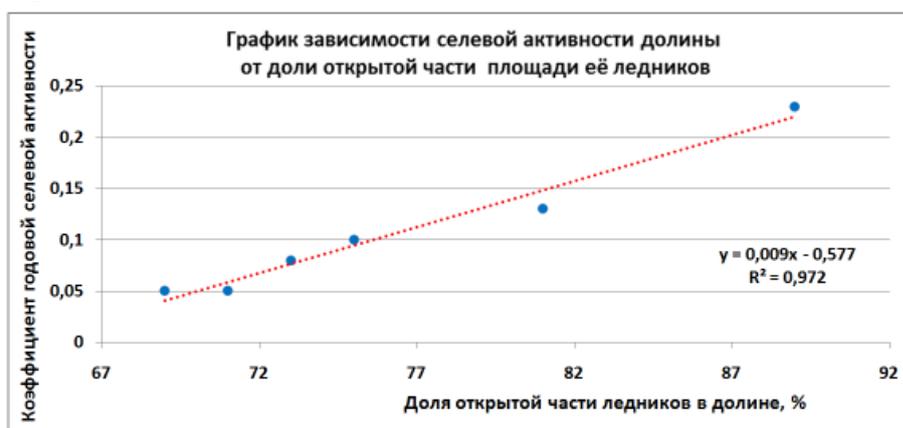


Рис.5.8. Графическое изображение корреляции между селевой активностью долины и пропорцией открытой области ледниковой площади

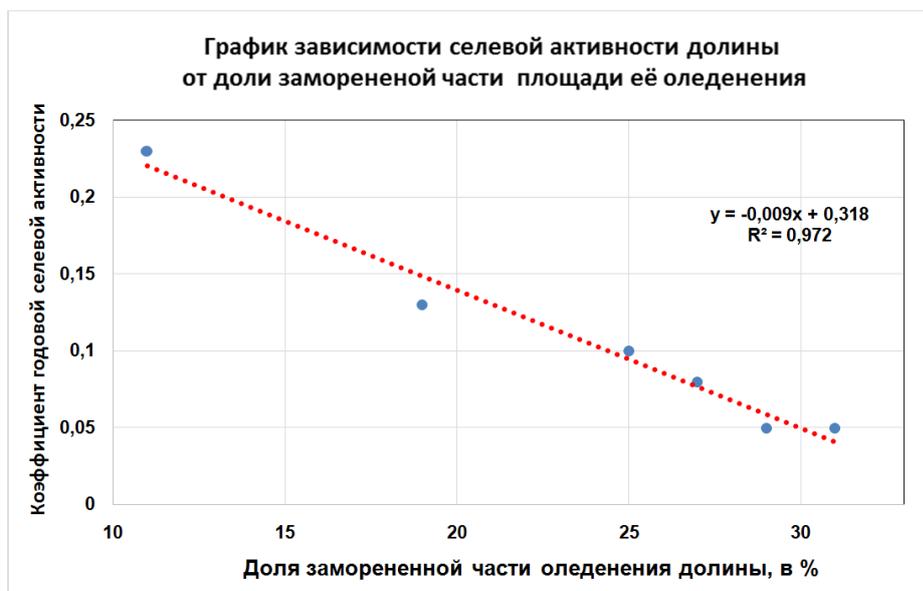


Рис.5.9. Взаимосвязь между заморенной частью ледника и селевой активностью

Графики изображенные на Рис. 5.8 и 5.9, позволяют сделать следующий вывод, "x<sub>1</sub>" отражает процентное соотношение открытой части ледников в

долине, в то время как "x<sub>2</sub>" указывает на процент заморенной части оледенения. Исследование этих взаимосвязей позволило выявить ключевые факторы, влияющие на селевую активность. Оказалось, что пропорции открытых и заморенных участков ледников играют важную роль в определении интенсивности и частоты селевых потоков в этих регионах.

$$y = 0.009 x_1 - 0.577 \quad (1)$$

$$y = 0.318 - 0.009x_2 \quad (2)$$

Из уравнения (1), следует, что коэффициент годовой селевой активности начинает увеличиваться, когда процентная доля открытой части ледников (x<sub>1</sub>), доходит или превышает пороговое значение – 64 процента.

Из уравнения (2), следует, что при увеличении доли заморенной части ледников свыше 35%, коэффициент селеактивности начинает уменьшаться.

Полученные значения могут быть использованы как важный критерий, в основе которого лежит заморенность ледника, для оценке влияния на селеактивность. Критерий заморенности – может служить в качестве объяснения причин повышенной селевой активности в Аксайской долине в прошлом, когда наблюдались гляциальные селевые потоки с высокой частотой, в процентном соотношении оценивался критерий оценивался в 35% (до 1960 годов), что в целом способствовало росту селевой активности. В результате отступления ледников в последующие годы площадь заморенной части росла и привнесла значение в 35%, в следствие чего наблюдалось снижение селеактивности.

### **Выводы по главе**

Для того чтобы строить прогнозы на будущее необходимо проводить постоянный мониторинг за деградацией оледенения и оценкой соотношения заморенной части ледника. Оценка критерия заморенности может позволить строить долгосрочные прогнозы для других долин Северного Тянь-Шаня, где стремительно сокращается оледенение.

Выведенные коэффициент селевой активности также является важным параметром, который может быть выведен при помощи палеоселевой реконструкции с использованием дендрохронологического метода.

В контексте заметной регрессии ледников и значительных изменений в криогенной зоне, которые зафиксированы в последние десятилетия, была выдвинута гипотеза, согласно которой интенсивность и частота селевых потоков во многом обусловлены характером и скоростью уменьшения ледников. Эта гипотеза предполагает прямую связь между динамикой ледникового отступления и увеличением селевой активности.

Такой подход позволил количественно определить уменьшение ледников и связать это с изменениями в селевой активности.

Обнаруженные критерии и пороговые значения позволяют дать объективную оценку селевой активности в прошлом и строить прогнозы на будущее.

На основании проведенного исследования следует, что существует прямая зависимость между оледенением и селевой активностью. Итак, чем выше процент оледенения открытой части ледника, тем выше селевая активность.

Данное исследование и полученные результаты имеют большое значение для понимания региональных особенностей селевой активности и может быть ключевым для разработки мер по предотвращению и минимизации рисков, связанных с селевыми потоками. Также оно способствует глубокому пониманию взаимосвязи между геологическими, гидрологическими и климатическими факторами в процессе формирования селей, что необходимо для эффективного управления природными рисками и планирования использования земель в горных регионах.

## **Глава 6. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ СЕЛЕВЫХ И ПАВОДКОВЫХ ПОТОКОВ**

### **6.1. Анализ существующей нормативно-правовой базы**

«Меры по снижению риска бедствий и управлению чрезвычайными ситуациями природного характера в КР осуществляются в соответствии с установленной Государственной системой Гражданской защиты. Эта система

функционирует в соответствии с рядом нормативно-правовых актов и международных правовых документов, которые регулируют вопросы снижения риска бедствий (СРБ) и действия в условиях гражданской защиты» [111].

«Следующие нормативно-правовые акты регулируют вопросы СРБ и управления рисками стихийных бедствий (УСРБ):

- Конституция Кыргызской Республики, В редакции Закона КР от 28 декабря 2016 года № 218;

- Закон "О Гражданской защите" в редакции от 2023 года;

- Постановления Правительства Кыргызской Республики, в том числе о классификации и критериях оценки чрезвычайных ситуаций (2023 год), об утверждении положений о государственной системе гражданской защиты (2019 год), и о единой системе комплексного мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (2019 год).

Одним из важных в системе УСРБ является, постановление от 23 октября 2019 года № 569, которое закрепило создание Единой системы комплексного мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЕСКМПЧС), включающей:

- Положение о системе;

- Список участников системы;

- Процедуры информационного взаимодействия между участниками;

- Методы анализа и оценки опасностей ЧС» [112].

Данное положение создает комплексное решение для УСРБ и вопросов связанных с оценкой рисков на различных объектах и территориях Кыргызской Республики. Это подход обеспечивает систематический и организованный процесс управления рисками, что является ключевым для эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации и снижения потенциальных ущербов от природных бедствий.

В рамках утвержденного порядка, цикл УСРБ, можно представить следующим образом:

1. Комплексная оценка подверженности опасностям и уязвимости. «Данный компонент риска направлен на оценку потенциального ущерба и убытков, которые могут возникнуть для людей, их имущества, средств к существованию, а также для инфраструктуры и услуг в определенной местности. Этот процесс включает идентификацию рисков, анализ вероятности их возникновения, а также оценку потенциального воздействия и степени уязвимости» [112].

2. «Предупреждение риска возникновения ЧС или митигация - этот аспект включает действия, направленные на предотвращение или снижение риска. Достижение этой цели может быть осуществлено через ряд мер, включая политические, правовые, административные инициативы, а также планирование

и инфраструктурные проекты. Эти действия могут варьироваться от строительства защитных сооружений до разработки и внедрения эффективных систем предупреждения и реагирования» [112].

3. «Готовность к бедствиям - этот компонент нацелен на снижение количества жертв и масштабов ущерба в случае возникновения бедствия. Он включает укрепление потенциала самопомощи общества, разработку и внедрение систем раннего оповещения, проведение специальных тренировок и учений для повышения готовности к бедствиям, а также: Этапы проведения анализа и оценки рисков, а также определение ответственных органов» [113]; Идентификация угроз и оценка вероятности их возникновения;

Эти интегрированные меры и процедуры представляют собой стратегию управления рисками чрезвычайных ситуаций на нескольких уровнях. Они способствуют развитию глубокого понимания и всесторонней подготовки к различным видам природных катастроф и других чрезвычайных ситуаций. Этот подход уникален тем, что он охватывает не только меры реагирования на уже произошедшие бедствия, но также акцентирует внимание на предотвращении и смягчении их последствий. Это достигается за счет тщательного планирования, адаптации инфраструктуры под угрозы, а также повышения уровня информированности и готовности общества к чрезвычайным ситуациям.

В рамках этой стратегии внедряются различные инструменты и техники, включая разработку планов действий в чрезвычайных ситуациях, обучение персонала и населения, создание ранних систем предупреждения, а также инвестиции в устойчивую и адаптируемую инфраструктуру. Все эти элементы вместе формируют комплексный подход, который позволяет не только эффективно реагировать на уже возникшие угрозы, но и прогнозировать потенциальные риски, тем самым уменьшая вероятность возникновения бедствий и их воздействие на общество и окружающую среду.

Одним из важных вопросов эффективности работы государственной системы Гражданской защиты во многом зависит от управления рисками бедствий на местах – на уровне городов, айыльных аймаков и сел. В Законе Кыргызской Республики «О местном самоуправлении и местной государственной администрации» среди вопросов местного значения указывается «координация и осуществление мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий и ликвидации их последствий». Без внедрения оценки рисков в социально-экономическое планирование и процесс принятия практических мер невозможно устойчивое развитие местных сообществ.

Существующая законодательная база как показано выше достаточно подробно, описывает основные механизмы проведения анализа риска и вопросов

информационного взаимодействия, однако следует учитывать, что изменения в законе “О Гражданской защите” были приняты относительно недавно в 2018 году, а соответствующее Постановление КР “О ЕСКМПЧС” было принято только в конце 2019 года.

В список участников ЕСКМПЧС включены только организации, ведомства и научные институты которые в той или иной степени ведут мониторинг за опасными природными процессами и явлениями, а органы местного самоуправления в этот список не входят, хотя и должны быть источником первичной мониторинговой информации, являющейся основой для проведения анализа риска бедствий. Также не прописаны правила и порядок предоставления информации.

Наряду с прописанными механизмами, следует отметить что реализация плана мероприятий состоит также из руководств, утвержденных методик и прописанных руководящих принципов, многие из которых либо устарели, либо полностью отсутствуют.

## **6.2. Селеоопасные участки города Бишкек**

1. Участок Орто-Алышского водозабора расположен за пределами г.Бишкек, но является объектом критической инфраструктуры. Орто-Алышский водозабор является одним из главных источников водоснабжения, обеспечивающий около 45% потребности города Бишкек чистой питьевой водой.

Город Бишкек питается питьевой водой подземных источников путем подачи воды через артезианские скважины. Ежегодно потребляется более 82 млрд. Литра питьевой воды.

На территории водозаборного сооружения расположены инфраструктурные объекты: отстойники, трубы, мостовые переходы расположенные в непосредственной близости к руслу реки Ала-Арча. При моделировании паводкового потока рассчитанного на расход  $70 \text{ м}^3/\text{с}$  по национальной методике [107], учитывая что в данной зоне будет наносоводный поток, низкой плотности  $1.1-1.2 \text{ г}/\text{см}^3$ , ввиду ограниченной водопрпускной способности моста под автомобильной дорогой, поток накапливаясь в естественном понижении рельефа, будет порционно вытекать на территорию водозабоа, при переливе через автомобильную дорогу, часть территории огороженная забором будет затоплена потоком (Рис.6.1). Уклон на участке 0.03.



Рис. 6.1. Участок Орто-Алышского водозабора

Модель построенная в программе RAMMS показывает что часть потока останется перед ограждением, расчеты проведенные в других программах показывают что после прохождения участка мостового переезда поток разольется по территории Орто-Алышского водозабора (при расходах  $70 \text{ м}^3/\text{с}$ ), как показано на Рис.6.2 (моделирование произведено в программе HEC-RAS), потоком будет охвачена значительная часть водозаборного сооружения.

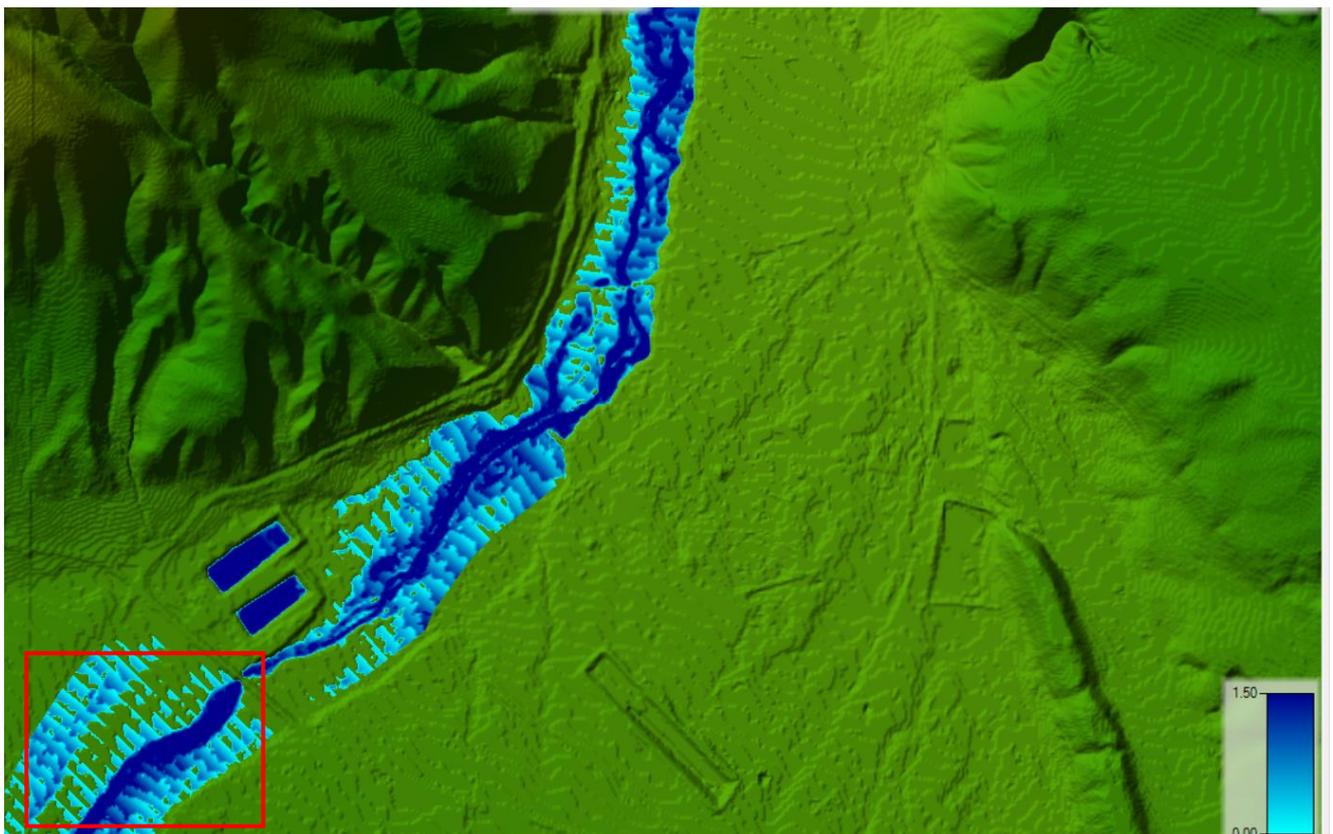


Рис.6.2. Участок, Орто-Алышское водозаборное сооружение

*Рекомендации:* Для защиты водозабора рекомендуется обустройство перед водохранилищем селенакпителя, на Рис.6.2 отмечено красным прямоугольником, данная зона по результатам моделирования будет затоплена ввиду ограниченной пропускной способности русла под мостом (сечение под мостом составляет  $25 \text{ м}^2$ ). Участок под мостом необходимо очистить от наносов.

2. Второй участок расположен в районе государственной резиденции «Ала-Арча» (Рис.6.3), под угрозой находится гидротехнический объект и расположенные рядом сооружения. Так же по результатам моделирования в зоне возможного затопления находятся участки по левому берегу реки Ала-Арча, при расходах 50 и  $70 \text{ м}^3/\text{с}$  будут затоплены участки забора, ограждающие госрезиденцию. Уклон на участке 0.026



Рис. 6.3. Зона поражения, участок гидросооружения (Чон-Арык) – расход  $70 \text{ м}^3/\text{с}$

Рекомендации: Для защиты объектов необходимо углубление русла с проведением берегозащитных мероприятий. Строительство канализированного русла с устройством стабилизирующих дно порогов после и до сооружения;

3. Участок (Чон-Арык), перед улицей Семетея, уклон на участке 0.026 (Рис.6.3). На данном участке перед автомобильным мостом по улице Семетея наблюдаются участки разлива паводкового потока по правобережью, под угрозой находится объекта по левобережью реки Ала-Арча. Здание Института Автоматики по результатам моделирования, а также в виду высокой пропускной способности русла на этом участке находится вне зоны поражения, однако высоковольтная опора может быть подмыта в результате воздействия паводка (Рис.6.4).



Рис. 6.4. Чон-Арыкский участок

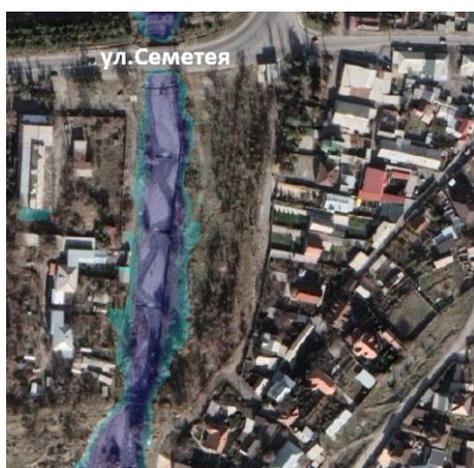


Рис.6.5. Участок перед мостом по улице Семетея

Рекомендации: Реабилитация русла с проведением защитных мероприятий; Берегозащитные мероприятия; Строительство защитной дамбы с креплением

4. Участок – коттеджный городок Ала-Арча-2, находится по правобережью реки Ала-Арча, в непосредственной близости к руслу находятся коттеджи, на некоторых участках расстояние составляет 10-20 метров, при моделировании потока расходом  $50 \text{ м}^3/\text{с}$  и выше данный участок будет затоплен паводковым потоком (Рис.6.6). Также по левому борту будут наблюдаться участки затопления, на данном участке строятся многоэтажные дома.



Рис. 6.6. Участок, выше парка Ынтымак – расход  $50 \text{ м}^3/\text{с}$

Рекомендации: Реабилитация русла, очистка от наносов; Нарастивание бортов по левому и правому борту для защиты жилых домов;

5. Участок выше моста по южной магистрали, при расходе выше  $50 \text{ м}^3/\text{с}$  наблюдаются разливы паводкового потока. В большей степени подвержены

затоплению участки по правобережью реки Ала-Арча на протяжении от улицы А.Масалиева до ул. Ахунбаева (Рис.6.7 и 6.8). моделируемая высота потока на этом участке достигает до 2 метров в местах понижения рельефа, после моста по улице А.Масалиева. По самому руслу реки Ала-Арча высота потока на некоторых участках достигает 1.5 м, ввиду того что русло в некоторых местах занесено наносами отложениями, высота бортов составляет на некоторых участках меньше одного метра.

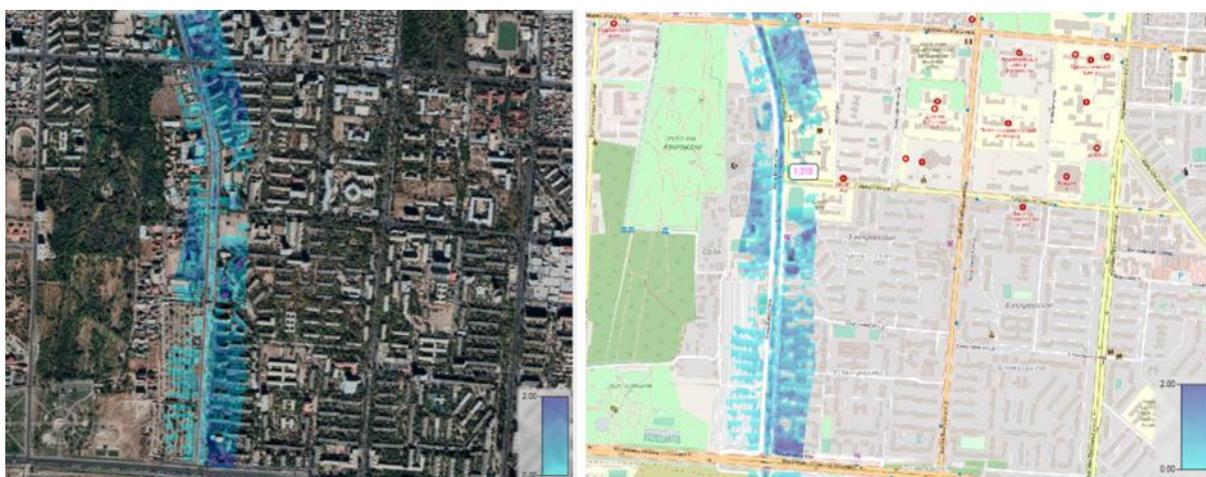


Рис. 6.7. Участок между улицами А.Масалиева и ул.Ахунбаева – расход  $50 \text{ м}^3/\text{с}$



Рис.6.8. Участок 10 –го микрорайонов

Рекомендации: На данном участке необходимо проведение очистки от русловых отложений до проектных параметров.

6. Участок от улицы Ахунбаева до Скрябина также имеет ряд участков, препятствующих свободному проходу потока. В основном это участки с ограниченной водопропускной способностью, занесенные мусором, а также имеющие на своем пути сооружения ограничивающие движение потока (Рис.6.9).



Рис.6.9. Участок между улицами Ахунбаева и Скрябина – расход  $50 \text{ м}^3/\text{с}$

Рекомендации: Для предотвращения затопления прибрежных участков и обеспечения пропуска паводковых вод необходимо выполнить мероприятия по очистке русла и восстановлению проектных параметров русла.

7. Одна из продолжительных зон затопления находится в районе Рабочего городка, ввиду ограниченной пропускной способности русла реки Ала-Арча наблюдаются места затопления как по правому, так и по левому борту реки. В зоне затопления находятся дома перед мостом по улице Льва Толстого (Рис.6.10).

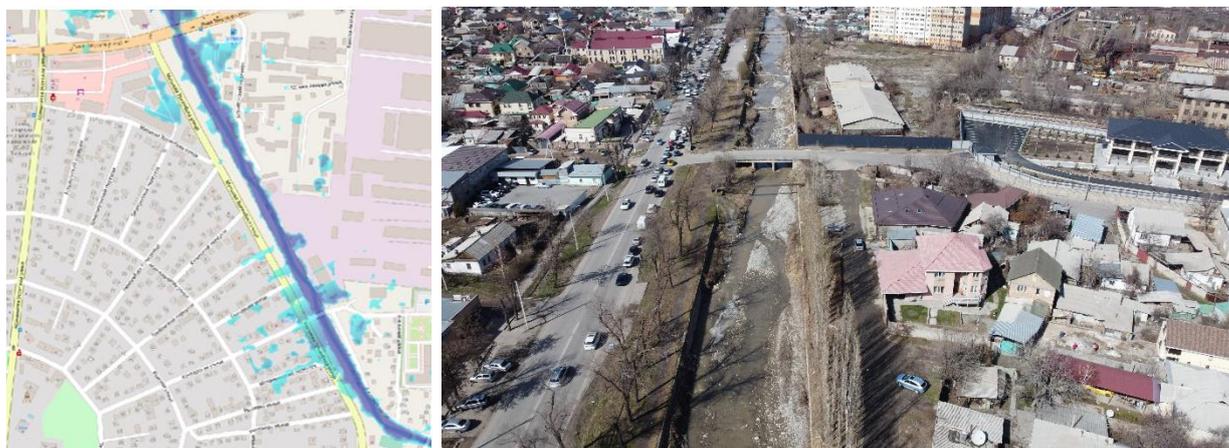


Рис. 6.10. Участок Рабочий городок– расход 50 м<sup>3</sup>/с

Рекомендации: Необходимо проведение очистки канализированного русла от наносов и строительного мусора в соответствии с проектными параметрами. Очистка порталов под мостовыми переездами.

8. Участок между улицей Боконбаева и улицей Токтогула, представляет собой широкие русловые участки сменяющиеся узкими, под мостом по улице Боконбаева. На некоторых участках движению потока препятствуют коммуникационные объекты в русле реки Ала-Арча (Рис.6.11). Наиболее обширная зона затопления наблюдается между улицами Токтогула и Московская.



Рис. 6.11. Участок между железной дорогой и улицей Токтогула– расход 50 м<sup>3</sup>/с

Рекомендации: Необходимо проведение очистки канализированного русла и водопропускных отверстий автомобильных мостов на улицах Токтогула, Московская, проспект Чуй.

9. Участок между проспектом Чу и БЧК (Большим Чуйским каналом) занесен наносами и мусором. Без механической очистки данный участок представляет угрозу при расходах свыше  $30 \text{ м}^3/\text{с}$  и выше, близко расположенные к руслу реки дома в случае прохождения паводка будут затоплены, высота бортов на данном участке достигает 0.5 метра что недостаточно при прохождении потока, высота волны на данном участке колеблется от 0.8 до 1.5 метра при расходе  $30 - 50 \text{ м}^3/\text{с}$ . На участке от проспекта Чу до проспекта Жибек-Жолу в зоне поражения находятся дома и приусадебные участки. Вблизи многоэтажных домов по левому берегу реки Ала-Арча ниже улицы Рыскулова потоком может быть охвачена прилегающая к домам территория. Ниже данного участка до улицы Жибек-Жолу, в зоне поражения паводком находятся дома частного сектора как вдоль левого так вдоль правого берега реки Ала-Арча (Рис. 6.12).

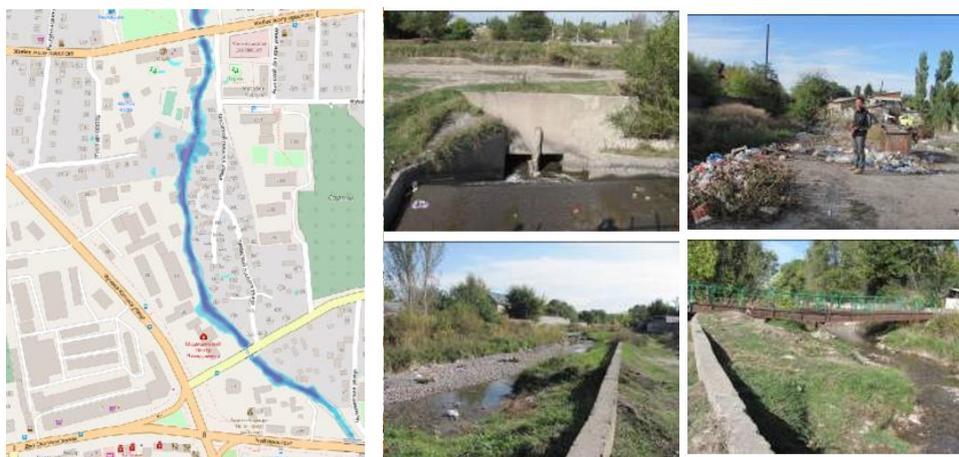
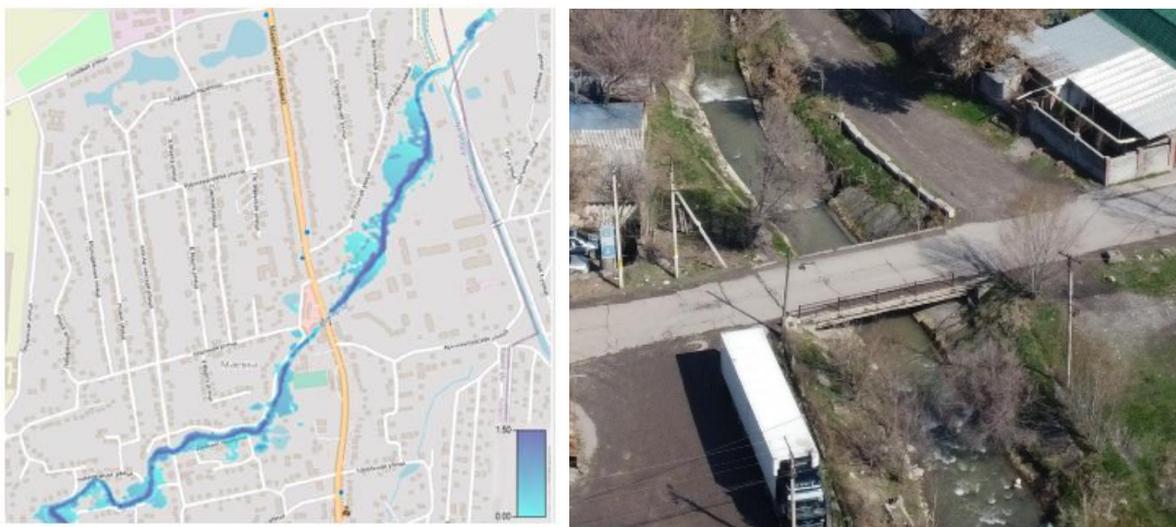


Рис. 6.12. Участок между проспектом Чу и БЧК (Большим Чуйским каналом) – расход  $50 \text{ м}^3/\text{с}$

Рекомендации: Необходимо проведение очистки канализированного русла в соответствии с проектными параметрами; для защиты от паводка необходимо проведение берегоукрепительных работ с наращиванием высоты защитной стенки.

10. Участок села Маевка (Рис.6.13 и Рис.6.14), под мостовыми переездами наблюдается заиление и ограниченная водопрopusкная способность. Здесь Ала-Арча имеет извилистое русло, уклон на данном участке составляет 0.001, ввиду незначительного уклона, поток на данном участке будет разливаться.



*Рис. 6.13. Участок села Маевка*

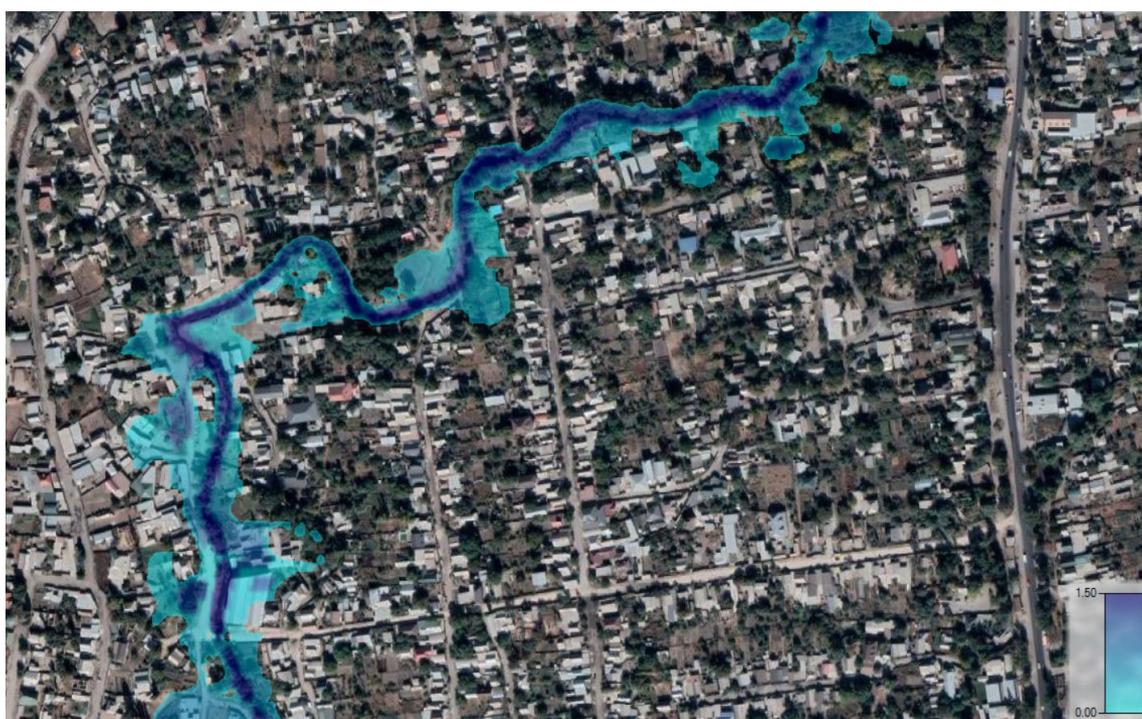


Рис.6.14. Зона затопления, село Маевка– расход  $30 \text{ м}^3/\text{с}$

Рекомендации: Необходимо проведение берегозащитных мероприятий; Необходимо проведение расчистки русла и мостовых переходов от наносов, доведение до характеристик с учетом пропуска потока  $30 \text{ м}^3/\text{с}$ .

11. Последние участки обширной зоны затопления находятся в жилмассиве Алтын-Казык ниже объездной дороги и Красный строитель. Поток для данной зоны не дойдет расходом в  $70$  или  $50 \text{ м}^3/\text{с}$ , так как значительная его часть разгрузится по результатам моделирования на участках расположенных выше и с учетом потерь до данного участка может дойти поток расходом до  $10 \text{ м}^3/\text{с}$  и

высотой до 0.5 м, ввиду зауженности русла и отсутствия высоких берегов, затоплены будут прибрежные участки по левому берегу реки.



Рис. 6.15. Участок ж/м Алтын-Казык – расход 30 м<sup>3</sup>/с

Рекомендации: реабилитация защитных дамб вдоль русла реки; Запретить застройку на низких (до 2,5 метров) террасах реки Ала-Арча

### 6.3. Защита важных инфраструктурных объектов

Для защиты города Бишкек и прилегающих к нему территорий выявлено два объекта расположенных за территорией города Бишкек выше по течению р. Ала-Арча, являющихся особо важными инфраструктурными объектами.

Первый участок расположен в селе Кашка-Суу и представляет собой бассейн суточного регулирования, предназначенный для ирригационных целей в весенне летний период. В случае разрушения данного сооружения селевым потоком возможно формирование каскадного риска. Прорыв БДР и формирование потока большой мощности.

Любой селевой поток сформированный в верховьях долины р. Ала-Арча, достигая резервуара, расположенного в селе Кашка-Суу, разгрузится непосредственного в него, и основная масса обломков осядет на дне водораспределителя, учитывая его ограниченную вмещающую способность, насыпная дамба водонакопителя может не выдержать и весь объем может прорвать через образовавшийся проран (Рис.6.16).

При прохождении селевого потока по реке Ала-Арча выделяются несколько зон которые подвержены риску, прежде всего это верхняя зона: 1) село Кашкасуу – дачи Академии наук, 2) село Байтик, рыбные хозяйства расположенные вблизи русла, нижняя зона которая в меньшей степени подвержена и может пострадать только в случае выдающегося селя: 3) жителям прибрежных вдоль Ала-Арчи микрорайонов и участков города Бишкек; 4)

домам, хозпостройкам, садам и огородам жителей прибрежных участков вдоль Ала-Арчи в селе Маевка.



Рис.6.16. БДР в селе Кашка-Суу

Рекомендации по устранению опасности: 1) необходим постоянный мониторинг за прорывоопасными озерами; 2) необходимо переоборудование БДР я в селехранилище емкостью не менее 0,5 млн.м<sup>3</sup>.

Второй участок представляет собой участок перед Ортоальшским водозаборным сооружением. Для защиты водозабора рекомендуется обустройство перед водохранилищем селенакопителя, Рис.6.17, данная зона по результатам моделирования будет затоплена ввиду ограниченной пропускной способности русла под мостом (сечение 25 м<sup>2</sup>). Участок под мостом необходимо очистить от наносов.



Рис. 6.17. Участок Ортоальшского водозабора

Третий участок расположен в селе Байтик на повороте на дачные участки. Со всех сторон моста навален строительный мусор (Рис.6.18) без дополнительной утрамбовки рваным камнем. Данный материал может быть вовлечен в поток и устремится вниз по долине с более разрушительной мощностью.



Рис. 6.18. Автомобильный мост, с.Байтик

### **Выводы по главе**

Проведенное исследование с учетом современных методов и подходов в вопросах снижения риска бедствий с учетом моделирования позволили выработать рекомендации которые можно условно подразделить на следующие этапы:

- Изменение основных институциональных подходов в УСРБ;
- Проведение предварительных расчетов защитных сооружений с учетом проведенного моделирования;
- Разработка комплекса защитных мер города Бишкек с учетом освоения прибрежных территорий и развития инфраструктуры которая может пострадать в ходе селевых процессов.

Таким образом основные рекомендации полученные по результатам данного исследования можно разделить на институциональные и практические, основанные на результатах проведенного моделирования.

*К институциональным рекомендациям можно отнести следующие:*

- Необходимость внедрения современных методов площадного моделирования селевой опасности на основе существующего программного обеспечения в деятельность государственных органов ответственных за мониторинг и прогнозирование селевой и паводковой угрозы. В результате проведенного исследования как наиболее подходящие программы были выделены: RAMMS для моделирования прорывных потоков (GLOF) и HEC-RAS для моделирования паводков;

- Разработка на основе существующей методики [107] программного продукта для определения границ зоны селе-паводкового поражения применительно к условиям Кыргызской Республики;

- Для улучшения временного прогноза и разработки пороговых значений для селевых потоков ливневого генезиса, необходима разработка программного продукта с использованием методов машинного обучения и анализа больших данных (big data) для государственных структур – участников системы ЕСКМП ЧС;

- Необходимо провести оценку технического потенциала государственных органов ответственных за мониторинг и прогнозирование селевой опасности. По результатам оценки необходимо разработать план мероприятий направленный на наращивание потенциала и освоение новых методологий и подходов в области мониторинга и прогнозирования селей;

- Проведение серии специализированных тренингов для органов местного самоуправления, государственных органов и населения по выработке планов реагирования на селепаводковую угрозу;

- Картирование селевой опасности с учетом уязвимости с определением митигационных мероприятий на долгосрочную перспективу, с учетом вовлечением новых агломераций в город Бишкек;

- Усиление надзорных мероприятий за строительством объектов в потенциально опасных зонах, в непосредственной близости к руслу реки Ала-Арча;

- Усовершенствование системы ЕСКМП ЧС, как основной в области мониторинга и прогнозирования ОПП;

- Усовершенствование системы раннего оповещения о селепаводковой угрозе.

Все основные институциональные мероприятия можно объединить в Приложение 1, основных мероприятий с ожидаемыми результатами.

*Практические* мероприятия заключаются в выработке конкретных защитных мероприятий на опасных участках выделенных на основе проведенного исследования

Самым рациональным способом защиты от опасных потоков в горной и предгорной зонах является выбор для строительства новых объектов безопасных

участков. Такие участки находятся за пределами зон селевого и паводкового поражения. Однако площадь безопасных участков в этих зонах невелика, поэтому возникает необходимость использовать для жилья и хозпостроек участки, расположенные в зоне действия опасных потоков. В этих случаях необходимо предусмотреть защиту от них: 1) от селевых потоков путем строительства селехранилищ с мощными селеудерживающими плотинами и селенаправляющих дамб; 2) от наносоводных потоков и паводков путем строительства водосбросных, и водонаправляющих каналов, а также водохранилищ. Так для пропуска паводков по реке Ала-Арча необходимо довести пропускную способность её русла до 70 м<sup>3</sup>/сек в верхней части, 50 м<sup>3</sup>/сек в верхней и средней частях города Бишкек (исходя из максимального зарегистрированного потока в 1953 г.) и 30 м<sup>3</sup>/сек в нижней части города Бишкек с учетом потерь потока, путем обвалования и укрепления берегов, иначе будут затоплены более 11 прибрежных участков по реке Ала-Арча.

Для особо важных объектов и участков даны рекомендации. Исполнение таких мер по снижению негативного воздействия селевых потоков окажет содействие в совершенствовании подходов, методологий и опыта, применения защитных мер в горных условиях Кыргызской Республики, а также создаст устойчивость и повысит потенциал вовлеченных ведомств.

В целях принятия превентивных митигационных мер необходима реализация комплекса мер включая институциональный подход и выполнения ряда практических инженерных мероприятий. Только комплексное решение проблемы по реабилитации русла реки Ала-Арча поможет для решения ряда проблем связанных с расширением города Бишкек, освоением при русловых территорий, а также позволит провести защитные мероприятия для расположенных вблизи русла объектов инфраструктуры города.

## **Заключение**

Кыргызстан, обладая статусом горной страны, неизбежно сталкивается с рядом трудностей, которые возникают вследствие негативных эффектов различных опасных природных явлений. Особенно актуальными являются селевые потоки и паводки, причиняющие значительные ущербы ее территории. Эти природные катаклизмы не только наносят вред окружающей среде, но и представляют собой серьезную угрозу для инфраструктуры и жизнедеятельности населения, затрагивая аспекты как экономического, так и социального развития страны. В связи с этим, Кыргызстан стоит перед необходимостью разработки и реализации эффективных стратегий и мер по

предотвращению и минимизации последствий этих природных процессов, чтобы обеспечить долгосрочную безопасность и устойчивое развитие страны.

Эти чрезвычайные ситуации, вызванные природными бедствиями, также оказывают негативное воздействие на окружающую среду, что требует значительных усилий и ресурсов для поддержания экологического баланса и восстановления пострадавших территорий. Помимо этого, такие явления оказывают ощутимое влияние на социальные аспекты жизни в Кыргызстане, создавая новые вызовы в сферах образования, здравоохранения и обеспечения основных жизненно важных потребностей населения. Для эффективного реагирования на эти проблемы требуется комплексный подход, который включает в себя стратегическое планирование устойчивого развития страны и разработку адекватных защитных мер. Это подразумевает не только срочные ответные действия в случае бедствий, но и долгосрочное планирование для минимизации рисков и повышения устойчивости страны к подобным природным угрозам. Данное исследование было сосредоточено на усовершенствовании методов оценки опасности и активности селеопасных долин, а также на прогнозировании их опасности. Как результат, были разработаны научно обоснованные методологические подходы и критерии оценки селевой опасности на примере репрезентативных малых селеоборных бассейнов рек. Основные задачи исследования включали в себя изучение особенностей развития селевых процессов Северного Тянь-Шаня, анализ воздействия различных факторов на формирование селевых потоков, рекомендации по внесению изменений в методику определения зон селепаводного поражения, в долинах Северного Тянь-Шаня проведена масштабная палеоселевое исследование активности. Учитывая наработки автора приведенные в данной работе предлагается и дальше развивать инновационное научное направление «Палеоселеведение», обоснованное проведенными полевыми инструментальными исследованиями по палеоселевой реконструкции с использованием метода дендрохронологии, с расчетом коэффициентов селевой активности, для типизированных пилотных селеопасных бассейнов рек Северного Тянь-Шаня.

Предложенный в данной работе комплексный подход для оценки селевой активности в малых селеоборных бассейнах, с использованием в том числе метода дендрохронологического датирования для анализа палеоселевой активности рек, моделирования селевых потоков, количественной оценке параметров селевых потоков, предлагается также распространить и на другие хребты Кыргызской Республики. Предлагается усовершенствование утвержденной национальной методики определения границ зоны поражения селевыми потоками с внедрением инновационных методов – использованием БПЛА и ГИС технологий, на ряду с современными программами для

моделирования (RAMMS, HEC-RAS), позволяющим уточнить достоверность прогностических данных и повысить эффективность выработки рекомендаций для снижения негативных воздействий оползневых рисков бедствий на население и территорию Северного Кыргызстана.

Проведенное моделирование должно стать основной для картирования наиболее подверженных/уязвимых зон. На Рис.1 приведен пример построения карты опасности при прорыве озера и формировании селевого потока. Такие карты необходимо построить для мест Северного Тянь-Шаня где расположены озера 1 и 2 категории опасности.

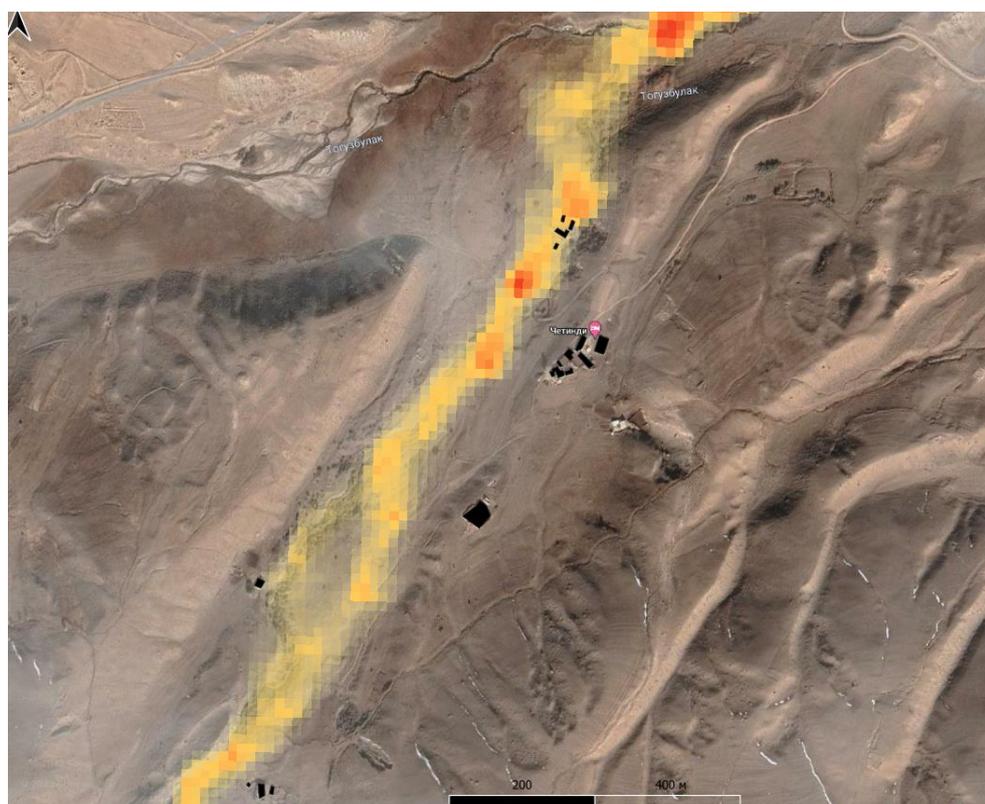


Рис. 1. Дома и хозпостройки попадающие в зону поражения при прорыве озера Четынды (Тосор)

В современном контексте глобальных изменений климата, когда эти процессы оказывают прямое влияние на криосферу, особенно важным становится анализ взаимосвязей между увеличением заморенности ледников и активностью селевых потоков в речных бассейнах горных долин Северного Кыргызстана. Изучение этих взаимосвязей позволяет более глубоко понять, как изменения в ледниковых массах могут влиять на участвовавшие и усиленные селевые потоки, которые представляют значительную угрозу для местных сообществ и инфраструктуры. Исследование также затрагивает аспекты

управления водными ресурсами и меры адаптации к изменениям климата в горных районах.

Результаты этого комплексного исследования были успешно интегрированы в практику ДМПЧС при МЧС КР. Данный департамент, играя ключевую роль в мониторинге и прогнозировании различных опасных природных явлений, теперь располагает более точными и обширными данными для оценки рисков, связанных с селевыми потоками и паводками. Внедрение результатов исследования позволило значительно улучшить своевременное предупреждение и реагирование на эти чрезвычайные ситуации, укрепив тем самым общую безопасность и устойчивость региона.

Для лучшего понимания угрозы селевых и паводковых процессов, а также выявления зон подверженных данной угрозе на основе проведенных исследований, была обновлена карта селевой опасности с учетом палеоселевой опасности (Рис 2).



Рис.2. Карта селевой опасности с учетом палеоселевых проявлений

Приведенное исследование по активности малых селеоборов является важным с точки зрения влияния климатических изменений на процесс селеформирования в местах которые считались ранее безопасными. Для таких случаев предлагается провести масштабное моделирование для установки подверженных зон и составление карт опасностей.

Особое внимание в исследовании уделено анализу и оценке рисков селеопасности в горных долинах Северного Тянь-Шаня. Эта информация оказалась крайне важной для разработки и реализации селезащитных систем, предназначенных для защиты населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий от потенциальных угроз селевых процессов. Благодаря этим данным, власти смогли более эффективно планировать и применять меры предотвращения и смягчения последствий селевых потоков, что в конечном итоге приводит к улучшению безопасности и устойчивости социально-экономической инфраструктуры в этих регионах.

Таким образом, результаты данного исследования не только способствуют повышению уровня готовности и реагирования на чрезвычайные ситуации, связанные с селевыми и паводковыми процессами, но и обеспечивают ценную основу для дальнейшего развития и совершенствования систем мониторинга и прогнозирования в Кыргызстане. Эти усовершенствования в системе мониторинга помогают не только в сокращении непосредственных ущербов от природных катастроф, но и в укреплении общей устойчивости страны к подобным угрозам.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Атлас Киргизской ССР. Т.1. Природные условия и ресурсы.- Москва: ГУГК СССР, 1987.157 с.
2. Безопасность и контроль гляциальных селей в Казахстане. [Текст] / Бижанов Н.К., Виноходов В.Н., Кулмаханов Ш.К., Нурланов М.Т., Попов Н.В. // - Алматы: Ылым, 1998. -101с.
3. Бойков А.С. Проект защиты г. Алма-Аты от селевых потоков. – «Информационный бюллетень». М., 1958, №2, С. 45-47.
4. Великанова Л.И. Краткосрочное прогнозирование селевой опасности с применением нейросетевых технологий. [Текст] /Великанова Л.И. // Доклад на Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита».– М., 2012. С.19-20.
5. Виноградов Ю. Б. Гляциальные селевые паводки и селевые потоки. [Текст] / Виноградов Ю. Б.// - Л. Гидрометеиздат.1977.-155с.
6. Виноградов Ю.Б. Транспортно-сдвиговой селевой процесс. Модель с сосредоточенными параметрами. [Текст] / Виноградов Ю. Б.// Сб. 5. Селевые потоки. Гидрометеиздат. Л., 1980, с. 10-12.
7. Виноградов Ю.Б., Осипова Н.А. Транспортно-сдвиговой селевой процесс. Модель с сосредоточенными параметрами. [Текст] /Виноградов Ю.Б., Осипова Н.А.// Селевые потоки. Сборник 5. Гидрометеиздат. Л., 1980, с. 10-12.

8. Воробьев Г. Государственный природный парк «Ала-Арча». [Текст] / Воробьев Г. // Фрунзе: Кыргызстан, 1980.
9. География. Современная иллюстрированная энциклопедия. [Текст] / Горкин А. П. // -М.: Росмэн. 2006. 624 с.
10. Гостев В.П. Экологические аспекты ликвидации высокогорных селеформирующих очагов Киргизии. - [Текст] / Гостев В.П. // Сб.: Материалы республиканской научно-технической конференции «Охрана и рациональное использование водных ресурсов, атмосферного бассейна и отходов производства». – Фрунзе, «Илим», 1991. С.45-46.
11. Гостев В.П., Кабаков В.М. и др. Отчет об инженерно-геологическом изучении физико-геологических процессов в пределах Северного склона Киргизского хребта, Фонды Госгеолагентства КР.- Бишкек, 1978. 302с.
12. Григоренко П.Г. Геоморфология и региональные закономерности гидрогеологических и инженерно-геологических условий горных стран на примере Киргизской ССР. [Текст] / Григоренко П.Г. // В сб.: Структурная геоморфология горных стран. М., «Наука», 1975.-С.63-75.
13. Ерохин С.А. Диссертация Мониторинг прорывоопасности горных озер Кыргызстана. [Текст] / Ерохин С.А. // НАН КР, ИВПиГЭ, Бишкек, 2012, с.120
14. Ерохин С.А. Инженерно-геологическая съемка масштаба 1:200000 района города Фрунзе. Фонды Госгеолагентства КР.- Бишкек, 1987. 127 с.
15. Ерохин С.А. Карта развития опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП) на территории Кыргызской Республики масштаба 1:200000 и пояснительная записка к ней. Фонды Госгеолагентства КР.- Бишкек, 2003. 76 с.
16. Ерохин С.А. Литология селеформирующих отложений и прогноз селевой активности в 2012 году. [Текст] / Ерохин С.А. // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание девятое с изменениями и дополнениями. – Б., Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2012. - С. 609-616.
17. Ерохин С.А. Селевые потоки Боомского ущелья. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2022. [Текст] / Ерохин С.А., Чонтоев Д.Т. Загинаев В.В., Тузова Т.В., №. 9. С. 75-85 DOI:10.26104/NNTIK.2023.48.19.014
18. Ерохин С.А. Мониторинг прорывоопасных озер Кыргызстана. [Текст] / Ерохин С.А. // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание шестое с изменениями и дополнениями. - Б., Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2009. - С.570-583.
19. Ерохин С.А. Оценка опасности селевого поражения автодороги в долине реки Барскаун. [Текст] / Ерохин С.А., Загинаев В.В. // *Современные техника и технологии в научных исследованиях*. 2021.

- 20.Ерохин С.А. Отчет о договорной работе с МЧС Кыргызской Республики «Результаты обследования горных озер Северного Кыргызстана с целью предупреждения их катастрофических прорывов». [Текст] / Ерохин С.А., Загинаев В.В.// Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР. Бишкек, 2014. 82с.
- 21.Ерохин С.А. Отчет по обследованию горных озер Северного Кыргызстана с целью предупреждения их катастрофических прорывов. [Текст] / Ерохин С.А., Загинаев В.В.// Работа по договору между МЧС КР и Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедицией Госгеолагентства КР. Бишкек, 2013. 91с.
- 22.Ерохин С.А. Оценка опасности действия селевых и паводковых потоков на территории Ала-Арчинского национального парка. [Текст] /Ерохин С.А., Диких А.Н. // - Б., Известия НАН КР, вып. 4. 2003г.- С.130-139.
- 23.Ерохин С.А. Периодичность прорывоопасности горных озер различного типа [Текст] /Ерохин С.А.// Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории КР. Б., МЧС КР, 2014. С. 590-594.
- 24.Ерохин С.А., Загинаев В.В. Изучение и прогноз развития опасных экзогенных геологических процессов в Чу-Иссыккульском регионе Кыргызской Республики. [Текст] / Ерохин С.А., Загинаев В.В. //Отчет Инженерно-геологической партии Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции по работам 2003-2012 гг. Фонды Госгеолагентства КР.- Бишкек, 2012. 180 с.
- 25.Ерохин С.А., Загинаев В.В. Прогноз активности селевых и паводковых потоков Кыргызстана в 2011 году. [Текст] / Ерохин С.А.//Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание восьмое с изменениями и дополнениями. - Б., Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2011. – С. 601-604.
- 26.Ерохин С.А., Мангельдина Н.Г., Загинаев В.В. Оценка селевой опасности горных долин Кыргызстана и прогноз селевой активности в 2010 году. [Текст] / Ерохин С.А. Мангельдина Н.Г., Загинаев В.В. //Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание седьмое с изменениями и дополнениями. - Б., Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2010. – С. 594-606.
- 27.Ерохин С.А. Гляциальные озера как гидроэкологические объекты и факторы их прорывоопасности.[Текст] /Ерохин С.А.// Сб. Вода и устойчивое развитие Центральной Азии. Фонд “Сорос-Кыргызстан”, 2001. – С. 93-98.
- 28.Загинаев В.В. Возможность прогнозирования прорывоопасности горных озер нестационарного типа с помощью уран-изотопных индикаторов. [Текст] /Тузова Т.В., Загинаев В.В. // Вестник Кокшетауского технического института

- министерства по чрезвычайным ситуациям республики Казахстан, №1(9), 2013. С. 25-34.
29. Загинаев В.В. Использование методов дистанционного зондирования и геоинформационных систем (ГИС) для изучения причин формирования селевых потоков и оценки их опасности. [Текст] / Тузова Т.В., Загинаев В.В. // Сборник научных трудов №69. Институт водного хозяйства – Тбилиси, 2014. С. 119-122.
30. Загинаев В.В. Литология селеформирующих отложений. [Текст] / Ерохин С.А., Загинаев В.В. // Central Asian Journal of Water Research. – 2017. – Т. 3. – №. 1. – С. 24-30.
31. Загинаев В.В. Прогнозирование селей в горных долинах Кыргызстана (на примере Северного склона Терской-Алатоо). [Текст] / Загинаев В.В. // Сборник научных трудов №65. Институт водного хозяйства – Тбилиси, 2010. С. 64-67.
32. Загинаев В.В. Прорыв морено-ледникового озера Тез-Тор (Северный Тянь-Шань). [Текст] / Тузова Т.В., Загинаев В.В. // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории КР. Б., МЧС КР, 2013. С. 563-570.
33. Загинаев В.В. Прорыв морено-ледникового озера Тезтор - Conference Mountainhazards 2013, Бишкек-«Аврора», 16-19 сентзбря, 2013, с.164-167.
34. Загинаев В.В. Селевая активность в долине реки Ала-Арча. [Текст] / Загинаев В.В. // Сборник материалов научно-практической конференции молодых ученых Кыргызстана «Старт в большую науку» Б.-2013. С.48-50
35. Загинаев В.В. Технологии оценки прорыва типов моделей плотин горных озер и вызванных ими селевых георисков в Тянь-Шане. [Текст] / Ерохин С.А., Загинаев В.В. // Материалы докладов VIII Международной конференции молодых ученых и студентов – Бишкек, 2016. С. 118-124.
36. Замай В.И. Автоматизированная система сбора и передачи данных для целей мониторинга параметров окружающей среды в бассейнах горных рек. [Текст] / Замай В.И., Добровольский Н.С. // ГеоРиск. 2012. №4. С. 64–68.
37. Замай В.И., Ревтов А.Н. Система оповещения о селевой опасности в бассейне реки Ала-Арча. [Текст] / Замай В.И., Ревтов А.Н. // Электросвязь № 10. М., 2010. С. 22–24
38. Иваненко А.Н. Отчет о результатах рекогносцировочной селевой съемки масштаба 1:50000 Северной Киргизии по работам 1965-66 гг. Фрунзе КГУ 1966 гг.
39. Инструкции по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСМ 03-76. [Текст] / А.И.Чеботарева, И.И. Херхеулидзе и Б.И.Серник. - Л., Гидрометеиздат, 1976. - 27 с.
40. Климат Киргизской ССР / [Текст] / З.А. Рязанцева // -Фрунзе, Илим, 1965. 292 с.

41. Костромин С.А. Сели Киргизии. [Текст] / Костромин С.А., Кубрушко С.С. // Сб.: Человек и стихия. 1973. – Л., Гидрометеиздат, 1972.-180-181с.
42. Костюк А.Д. Деформация земной коры Северного Тянь-Шаня по данным очагов землетрясений и космической геодезии. [Текст] / Костюк А.Д., Сычева Н.А., Юнга С.Л., Богомолов М.Л., Яги Ю. // - Физика Земли, №3, 2010. С. 52-65.
43. Крошкин А.Н., Талмаза В.Ф. О селевых явлениях в Киргизии. [Текст] / Крошкин А.Н., Талмаза В.Ф. // Фрунзе, «Изв. АН Кирг. ССР», сер. естеств. и технич. наук, 1960, т.2, вып.4.с. 4.
44. Кузьмиченок В.А. Статистические исследования геометрии долинных ледников Кыргызстана. [Текст] / Кузьмиченок В.А. // Материалы гляциол. исслед., 2006, вып. 100, С. 80–86.
45. Кутузов С.С. Изменение ледников Внутреннего Тянь-Шаня за последние 150 лет. [Текст] / Кутузов С.С. // Автореф. диссерт. –М., 2009.-24с.
46. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. [Текст] / Ломтадзе В. Д. // Л., Недра, 1977. 479 с.
47. Лопатина Т.А., Серебрянская Т.Я. Механизмы очагов слабых землетрясений, произошедших в 1967–1973 гг. в Чуйской впадине и ее горном обрамлении. Строение земной коры и сейсмичность Северного Тянь-Шаня. [Текст] / Лопатина Т.А., Серебрянская Т.Я. // Фрунзе: Илим. 1978. С. 111–122.
48. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (Изд. 19-е с изм. и доп.), Б.: МЧС КР, 2022. – 842 с.
49. Оледенение Тянь-Шаня. [Текст] / Дюргеров М.Б., Лю Шаохая, Се Зичу. // – М., 1995. 233 с.
50. Отчет о научно исследовательской работе. Часть 5, Организация мониторинга горных прорывоопасных озер Северного Тянь-Шаня, НАН КР, ИВПиГЭ, Лаборатория высокогорных озер, Бишкек, 2012, с.52
51. Перов В.Ф. Селеведение. [Текст] / Перов В.Ф. // - М.: МГУ, 2012. 274 с.
52. Перов В.Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. [Текст] / Перов В.Ф. // – М.: Издательство МГУ, 1996. 34 с.
53. Подрезов О.А. Горная метеорология и климатология. [Текст] / Подрезов О.А. // Бишкек: Изд. Кыргызско-Российского Славянского университета, 2000. – 269 с.
54. Подрезов О.А. Современный климат Кыргызстана и сценарии его изменений в XXI веке. [Текст] / Подрезов О.А., Бакиров К.Б., Закурдаев А.А., Маяцкая И.А. // Вестник КРСУ, 2002.- Вып. 4.С. 1 – 14.
55. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 14, выпуск 2, бассейны оз. Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим, 1973, 307 с.

- 56.Руководство к селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей. РД 52.30.238-89, Москва, Гидрометиздат, 1990, с. 41-43
- 57.Руководство по изучению селевых потоков. Л. Гидрометеиздат, 1976, 144 с.
- 58.Степанов Б. С. Транспортно-сдвиговый и сдвигово-эрозионный селевой процессы. [Текст] / Степанов Б. С.// Селевые потоки. Сб. 9. - М., Гидрометеиздат, 1985. - С. 3-16.
- 59.Степанов Б.С. Механика селей [Текст] / Б.С. Степанов, Т.С. Степанова // Каз.регион.н.-и.гидрометеорол.ин-т. - М. : Гидрометеиздат. Моск.отд-ние, 1991. - 379 с.
- 60.Церетели Э.Д. Выявление геологических условий формирования селевых потоков на Западном Кавказе. [Текст] /Церетели Э.Д., Церетели Д.Д.//Труды КазНИГМИ. Сб. 3, ред. Виноградов Ю.Б. – Л., Гидрометеиздат, 1978. С.51
- 61.Церетели Э.Д. Генезис и формирование селевых очагов, развитых в разных геологических формациях на территории Грузии. [Текст] /Церетели Э.Д.// Труды ЗакНИГМИ, вып.31(37). - Гидрометеиздат, 1979. – С.47-55.
- 62.Черны М., Ерохин С. Мониторинг высокогорных ледниковых озер и защита населения от катастрофических последствий наводнений, возникших в результате прорыва моренных плотин. Фонды Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции Госгеолагентства КР. – Бишкек, 2007. 151с.
- 63.Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф [Текст] / С.С. Черноморец. - М. : Науч. мир, 2005. - 184 с.
- 64.Чупахин В. М. Физическая география Тянь-Шаня.[Текст] / Чупахин В. М. // - Алма-Ата, 1964. 378 с.
- 65.Чуринов М.А., Шеко А.И. Методическое руководство по комплексному изучению селей. [Текст] / Чуринов М.А., Шеко А.И. // Недра, Москва, 1971. с. 163
- 66.Шатравин В.И., Ставиский Я.С. Методические основы выявления селеформирующих факторов при детальном обследовании высокогорных озер. [Текст] /Шатравин В.И., Ставиский Я.С. // Селевые потоки. Сб. 8. – М.: Гидрометеиздат, 1984. С. 83-92.
- 67.Baumann, F., Kaiser, K. F., 1999. The Muletta debris fan, Eastern Swiss Alps: A 500-year debris flow chronology, Arct. Antarc. Alp. Res. 31 (2), 128–134
- 68.Bollschweiler, M., Stoffel, M. (2007): Debris flows on forested cones – reconstruction and comparison of frequencies in two catchments in Val Ferret, Switzerland.[Text] /Bollschweiler, M., Stoffel, M. // Natural Hazards and Earth System Sciences 7,pp. 207-218.

69. Bollschweiler, M., Stoffel, M., Schlaepky, R. (2011): Debris-flood reconstruction in a pre-alpine catchment in Switzerland based on tree-ring analysis of conifers and broadleaved trees. *Geografiska Annaler* 93: pp.1-15
70. Costa, J. E.: 1984, Physical geomorphology of debris flows, In: J. E. Costa and P. J. Fleischer (eds), *Developments and Applications of Geomorphology*, Springer, Berlin, Germany, pp. 268–317.
71. Erochin S.A., Mamatkanov D.M., Tuzova T.V. Monitoring of Kirgiz Lakes at Risk of Outburst Flods. [Text] /Erochin S.A., Mamatkanov D.M., Tuzova T.V. // International Simposium on Flods and Modern Methods of Control Measures. - Tbilisi, Georgia, GWMI-80, 2009. – P.130-147.
72. Erochin, S.A., Tusova, T.V., 2009. Assessment of risk of mountain lakes outburst with the use of natural uranium-isotopic indicators // Radioactivity and radioactive elements in environment //Proceedings of III International Conference, Tomsk: SST, pp. 178-180.
73. Fuchs, S., Keiler, M., Sokratov, S.A., Shnyparkov, A.L., 2013. Spatiotemporal dynamics: the need for an innovative approach in mountain hazard risk management. *Natural Hazards* 68 (3), 1217–1241.
74. Grissino-Mayer H.D., 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. *Tree-Ring Research* 59, pp.63–79.
75. Jakob, M., Hungr, O., 2005. *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Springer, Berlin.
76. Jansky, B., Sobr, M., Yerokhin, S.A. (2006): Typology of highmountain lakes of Kyrgyzstan with regard to the risk of their rupture. *Limnological Review*, Vol. 6/2006. Polish Limnological Society, Poznan, p.135-140.
77. Kogelnig-Mayer, B., Stoffel, M., Bollschweller, M., Hubl, J., Rudolf-Miklau, F., 2011. Possibilities and imitations of dendrogeomorphic time-series reconstructions on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity, *Arct. Antarc. Alp. Res.* 43 (3), 649–658.
78. Lopez Saez J., Corona C., Stoffel M., Gotteland A., Berger F., Liébault F., 2011. Debris-flow activity in abandoned channels of the Manival torrent reconstructed with LiDAR and tree-ring data. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, pp.1247-1257.
79. NASA Earth Observatory. (The official site: <http://earthobservatory.nasa.gov>)
80. Pachauri R. et al. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2007. pp. 104.
81. Reynolds, J.M. 1992 The identification and mitigation of glacier-related hazards: examples from the Cordillera Blanca, Peru. In: McCall, G.J.H., Laming, D.C.J. and Scott, S. (eds), *Geohazards*, 143-157.

- 82.Reynolds, J.M., Dolecki, A., Portocarrero, C., 1998. The construction of a drainage tunnel as part of glacial lake hazard mitigation at Hualcan, Cordillera Blanca, Peru in *Geohazards in Engineering Geology* (ed. By J.G. Maund, M.Eddleston), Geological Society, London, Engineering Geology Special Publ. 15, pp. 41-48.
- 83.Richardson, S.D., Reynolds, J.M., 2000. An overview of glacial hazards in the Himalayas. *Quaternary International* 65, pp. 31-47
- 84.Rickenmann, D., 1999. Empirical relationships of debris flows. *Natural Hazards* 19, 47–77.
- 85.Ruiz-Villanueva, V., Bodoque, J.M., Díez-Herrero, A., Ballesteros, J.A. (2009): Space-time variability of precipitation in a mountainous catchment of the Spanish Central System. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU2009-5763-2. Abstracts of the Contributions of the EGU General Assembly 2009, Vienna (Austria), 19-24 April 2009. European Geosciences Union.
- 86.Ruiz-Villanueva, V., Díez-Herrero, A., Bodoque, J.M., Ballesteros, J.A., Stoffel, M. (2013): Characterization of flash floods in small ungauged mountain basins of central Spain using an integrated approach. *Catena* 110, pp.32–43.
- 87.Schneuwly, D.M., Stoffel, M., Bollschweiler, M., 2009. Formation and spread of callus tissue and tangential rows of resin ducts in *Larix decidua* and *Picea abies* following rockfall impacts. *Tree Physiol.* 29 (2), 281–289.
- 88.Schneuwly, D.M., Stoffel, M., Bollschweiler, M., 2009a. Formation and spread of callus tissue and tangential rows of resin ducts in *Larix decidua* and *Picea abies* following rockfall impacts. *Tree Physiol.* 29 (2), pp.281–289.
- 89.Schneuwly, D.M., Stoffel, M., Dorren, L.K.A., Berger, F., 2009b. Three-dimensional analysis of the anatomical growth response of European conifers to mechanical disturbance. *Tree Physiol.* 29 (10), pp.1247–1257.
- 90.Schneuwly-Bollschweiler, M., Corona, C., Stoffel, M., 2013. How to improve dating quality and reduce noise in tree-ring based debris-flow reconstructions. *Quat. Geochronol.* 18, pp.110–118.
- 91.Solomina, O.N., Savoskul O.S., and Cherkinsky A.E., 2009. Glacier variations, mudflow activity and landscape development in the Aksay Valley (Tian Shan) during the late Holocene. *The Holocene*, 4 (1), pp.25-31
- 92.Stefanini, M.C., Ribolini, A., 2003. Dendrogeomorphological investigations of debris-flow occurrence in the Maritime Alps (northwestern Italy). In: Rickenmann, D., Chen, C.L. (Eds.), *Debris-flow Hazard Mitigation: Mechanisms, Prediction, and Assessment*. Millpress, Rotterdam, 231-242.
- 93.Stoffel, M., 2005. 400 years of debris flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland. [Text] /Stoffel, M., Lièvre, I., Conus, D., Grichting, M., Raetzo, H., Gartner, H.W., Monbaron, M., //Arct. Antarct. Alp. Res. 37 (3), pp. 387–395.

94. Stoffel, M., 2008. Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts. *Dendrochronologia* 26 (1), pp.53-60.
95. Stoffel, M., Bollschweiler, M., Widmer, S., Sorg, A., 2010. Spatio-temporal variability in debris-flow activity: a tree-ring study at Geisstriftbach (Swiss Alps) extending back to AD 1736. *Swiss Journal of Geosciences* 103, pp. 283–292.
96. Stoffel, M., Corona, C., 2014. Dendroecological dating of geomorphic disturbance in tress. *Tree Ring Res.* 70, pp.3-20.
97. Stoffel, M., Lièvre, I., Conus, D., Grichting, M., Raetzo, H., Gartner, H.W., Monbaron, M., 2005. 400 years of debris flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 37 (3), 387–395.
98. Strunk, H., 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods, *Catena* 31, 137–151.
99. Takahashi, T., 2007. Debrisflow: mechanics, prediction and counter measures. Taylor&Francis, Leiden.
100. Takahashi T. Mechanical characteristics of debris flow //Journal of the Hydraulics Division. – 1978. – Т. 104. – №. 8. – С. 1153-1169.
101. Wu, W., 2015. Recent advances in modeling landslides and debris flows. Springer, Cham.
102. Zaginaev V. et al. Geomorphic control on regional glacier lake outburst flood and debris flow activity over northern Tien Shan //Global and Planetary Change. – 2019. – Т. 176. – С. 50-59. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2019.03.003](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.03.003)
103. Zaginaev V. et al. Development of a Potentially Hazardous Pro-Glacial Lake in Aksay Valley, Kyrgyz Range, Northern Tien Shan //Hydrology. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С. 3. DOI: [10.3390/hydrology6010003](https://doi.org/10.3390/hydrology6010003)
104. <https://www.caiag.kg/ru/projects-ru/297-katalog-lednikov-kyrgyzstana>
105. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>
106. <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>
107. СП КР 22-102:2001 «Порядок определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики»
108. Загинаев, В. В., Ерохин, С. А., & Оморова, Г. Загинаев В. В., Ерохин С. А., Оморова Г. Кыргыз тоо кыркасынын түндүк капталындагы дарыя өрөөндөрүндө селдин активдүүлүгү. Наука, новые технологии и инновации кыргызстана. (3), 106-114.
109. Umaraliev, R., Moura, R., Havenith, H. B., Almeida, F., & Nizamiev, A. G. (2020). Disaster Risk in Central Asia: Socio-Economic Vulnerability Context and Pilot-Study of Multi-Risk Assessment in a Remote Mountain Area of Kyrgyz Republic. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 5(3), 234-244.

110. Scaini, C., Tamaro, A., Adilkhan, B., Sarzhanov, S., Ismailov, V., Umaraliev, R., ... & Fagà, E. (2023). A new regionally consistent exposure database for Central Asia: population and residential buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2023, 1-17.
111. Закон Кыргызской Республики г.Бишкек, от 24 мая 2018 года № 54 О Гражданской защите, в редакции от 2023 г.
112. Отчёт результатов оценочной миссии многопрофильной группы международных экспертов ООН “Инициативы КАДРИ (CADRI)” по диагностике потенциала Снижения риска бедствий в КР, 2023. <https://www.mchs.gov.kg/ru/kr-hta-boyuncha-uluttuk-platformasy/buunun-el-aralyk-ekspertterdin-multidisciplinaryk-tobunun-cadri-demilgeleri-cadri-kyrgyz-respublikasynda-kyrsyktar/>
113. Дорожная карта комплексного прикладного исследования по 5-ти стратегических направлений развития системы СРБ и АИК в КР, 2023. <https://www.mchs.gov.kg/ru/kr-hta-boyuncha-uluttuk-platformasy/kr-sistemasyn-onukturuunun-5-strategiyalyk-bagyttary-boyuncha-komplekstuu-prikladdyk-izildoolor-boyuncha-zhol-kartasy/>
114. Черноморец, С. С., & Михайлов, В. О. (2012). Численное моделирование катастрофических селей, обвалов и оползней с применением трехмерной дискретной модели. *Геориск*, (1), 16.
115. Ибрагимов А.С. Гидрогеологические и инженерно-геологические задачи при изучении орошаемых территорий Материалы Международной научно-технической конференции. Ташкент, 2015., С. 61
116. Ибрагимов А.С., Бакиев С.А., Жураев Д. Дальнейшие возможности использования подземных промышленных вод Юго-Западного Узбекистана. Соавтор. Материалы Международной республиканской конференции «Влияние природных глобальных изменений и техногенных условий на гидрогеологические, инженерно-геологические и геоэкологические 203 процессы: анализ результатов и прогнозирование развития», Ташкет, 12 октября, 2018 г., С. 26-28
117. Ибрагимов А.С. Мингбоев К.Р., Охунов Ф.А., Андреев Д.Н. Приоритеты развития гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследований в современных условиях Материалы Республиканской научно-технической конференции «Научно-инновационные аспекты современных гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследований». ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», Ташкент 14 октября 2022 г. С. 6-12

118. Бимурзаев Г.А. Мавлонов А.А. и др. «Роль науки при решении актуальных задач гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии», Журнал «Геология и минеральные ресурсы», Ташкент, №2/2021. С.34-38.
119. Мавлонов А.А., Мавлянов Т.Э. и др. «Некоторые проблемы гидрогеологии и инженерной геологии Узбекистана, пути их решения» Журнал «Геология и минеральные ресурсы», Ташкент, №2/2021. С.109-115.
120. Мавлонов А.А., Жонгиров А.А., Акрамов Б.А. « Особенности ведения Государственного баланса подземных вод В Узбекистане», Материалы Республиканской конференции « Научно-инновационные аспекты современных гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследований», Ташкент, 2022 год, С.85-90.
121. Валиев Ш.Ф . Экологический сток как критерий нормирования водопользования и оценки геоэкологической устойчивости (на примере рек Таджикистана) [Текст]/ Ш.Ф. Валиев; Интернет–журнал ВАК НАН КР. 2015. № Адрес доступа: <http://www.nakkr.kg/jurnalVAK/>
122. Валиев, Ш.Ф. О трансформации литосферы георисками в Таджикистане /Современные техника и технологии в научных исследованиях [Текст]/ Валиев, Ш.Ф., Усупаев Ш.Э.// Материалы докладов VII Международной конференции молодых ученых и студентов. г. Бишкек, 25-26 марта 2015 г. Бишкек, 2015. – С. 22-27 204
123. Валиев Ш.Ф. Карта георисков Кулисуфиан–Себистонского цирка [Карты]/Ш.Ф.Валиев; Душанбе; сост., подгот. к изд. и отпечатана ТНУ в 2014 г.; ст.ред. Н.К.Хакимов.– 1 л.
124. Валиев Ш.Ф. Влияние строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений на окружающую среду Таджикистана [Текст]/ Ш.Ф. Валиев, М.А. Ниёзов, Ш.Х. Одинаев// Безопасность гидротехнических сооружений в сейсмически активных районах: материалы международной научной конференции/Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. – Душанбе, 2013. – С.109-113.
125. Валиев Ш.Ф. Изменение геоэкологических условий речных систем Таджикистана в связи со строительством водохранилищ [Текст]/ Ш.Ф. Валиев// Кишоварз (Вестн. Тадж. агр. ун-та). – Душанбе, 2014. – № 3.–С.38-39



**Приложение 1.** Каталог селеопасных рек Северного Тянь-Шаня

№	Наименование водотока	Куда впадает и с какого берега (л) и (п)	Длина водотока, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Абсолютная высота, м		Дата прохождения селей	Продолжительность, часы, мин	Тип селея	Причина возникновения	Максимальная крупность наносов, м	Источник сведений	Примечание (расход потока м <sup>3</sup> нанесенный ущерб)
					источника	устья							
<b>Южный склон хребта Кунгей –Алатау. Бассейн реки Чу.</b>													
1	Шыргый	Р. Чу (п)	23	63,8	3460	1575	1958г 05-1960г	- -	Грязи каменный  Грязи каменный	Прорыв озера  снеготаяние	0,7-0,8	УГМС Каталог1 967г	Заносится автодорога  Фрунзе-Рыбачье
<b>Северный склон Киргизского хребта</b>													
2	Коморчок	Р. Чу (п)	33	265	3690	1140	6.08.1960г 27.07.1968г 29.06.1974г	1:30 - -	Грязе каменный  Грязе каменный	Ливневый дождь	0,7 - -	УГМС Каталог1 967г  УГМС УГМС	Q=100м <sup>3</sup> /с
3	Кок-Мойнок	Р. Чу	-	-	-	-	19.06.1967г	1:30	Грязи каменный	Ливневый дождь	-	УГМС	Q=145м <sup>3</sup> /с  Ущерб геологов

4	Кургак-Терек	Р. Чу (л)	7,8	21,6	26,20	1471	06.1960г 1963г 27.06.1968г 9.06.1972г	Нет сведе ний - -	Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный	Ливневый дождь	0,7-1,0	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС	Q=22,6м3/с Перегорожена трасса Бишкек- Рыбачье Q=15м3/с разрушен мост автодороги
5	Сулуу-Терек	Р. Чу (л)	6,0	20,4	2100	1437	07.1958г 27.06.1968г	Нет сведе ний	Грязи каменный	Ливневый дождь	0,5 -	УГМС Каталог1 967г УГМС	Q=2,3м3/с
6	Джель-Арык	Р. Чу (л)	-	1,0	-	-	1.06.1978г	-	Грязи каменный	Ливневый дождь	-	УГМС	Ущерб Ж/Д и автодороги
7	Кызыл-Суу	теряется	32	240,3	3600	1190	04.1950г 8.06.1959г 20.04.1987г	1:0 - -	Грязи каменный		-	УГМС Каталог1 967г УГМС	Q=28,1м3/с
8	Шамси	Р. Красная речка	67	598	3780	795	15.08.1955г 8.04.1959г 17.06.1966г 28.05.1969г	Нет сведе ний	Вода каменный Грязи каменный Вода каменный	Таяния снегов Ливни -	0,6 - - -	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС	Q=51,9м3/с

							7.07.1981г 07.1987г			Ливневой дождь  Прорыв озеро		Материалы инженерного геол. отряда	
9	Сай Карасуу	Р. Ак-суу	-	-	-	-	28.05.1969г	-	Грязи каменный	Ливневый дождь	-	УГМС	Q=17,6м3/с  Погибло (7) человек
10	Турагенен	Р. Шамси (л)	12	38	3180	1532	15.07.1957г 15.06.1958г 8.04.1959г 1.06. 10.07.1963г 28.05.1969г	6:0 нет сведе н. 9:00 3:00 1:00 3:00	Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный	Ливневый дождь  Ливневый дождь  Ливневый дождь	2,0 0,7 0,6 0,05 0,05 0,5	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС УГМС УГМС	Повреждается гидротех снаряжение  Q=11,8м3/с
11	Бурана	теряется	2,2	91,3	3320	1010	11.05.1964г	-	-	-	-	УГМС	
12	Кызкуйо	Р. Чу (л)	3,5	6,9	1880	1435	27.06.1968г 07.1998г	-	-	-	-	УГМС  Материалы инженерного	Перегорожена дорога  Q=10м3/с

												геол. отряда	
13	Сай Чолок	Р. Кемин	3,5	9,5	2930	2180	15.07.1958г	5:00	Грязи каменный	Ливневый дождь	1,5	УГМС  Каталог1 967г	
14	Иссык-Ата	Р. Чу (л)	81	558	3600	675	31.05.1957г 4.08.1975г 9.08.1979г 2.07.1983г 06-07.1993г	- - - - -	Вода каменный - - Грязи каменный  Грязи каменный	Ливневый дождь - - Ливневый дождь Ливневый дождь	- - - - -	УГМС  Каталог1 967г  УГМС  УГМС  Материа лы инженер ного геол. отряда	Q=54м3/с  Q=63,7м3/с  Ущерб
15	Туюк Исыката	-	-	-	-	-	16.08.1952г 08.1978г	- -	Грязи каменный -	Прорыв озеро Текетор  -	-	УГМС  УГМС	Q=40-50м3/с сток подземный  Q=30м3/с  сток подземный
16	Нооруз	теряется	2,6	180	3160	740	03-07.1964г	-	-	-	-	УГМС  Каталог1 967г	

17	Чирканак	Ноорус	-	-	-	-	1993г	-	Грязи каменный	Прорыв озеро Чырканак	-	Материалы инженерного геол. отряда	
18	Аламедин	Р. Чу (л)	82,5	317	3720	620	14.07.1956г 1.07.1959г 15.07.1964г	- - -	- Вода каменный -	Ливневый дождь - -	- - -	Каталог1 967г УГМС - -	Прорыв плотины Q=310м3/с
19	Чункурчак	Р. (л) Аламедин	19	98,9	3290	1280	16.05.1949г 20.07.1954г 15.07.1964г 21.07.1970г 22.06.1975г	6:0 1:0 - - -	Грязи каменный Вода каменный - -	Ливневый дождь - - Ливневый дождь	0,4 0,25 - -	Каталог1 967г УГМС - УГМС УГМС	- Q=12,9м3/с Q=3м3/с Q=40м3/с
20	Акпай	Р. Сокулук			3720		02.08.2021		Грязи каменный	Прорыв озеро			Q=150м3/с
21													

22	Тезтор	Р. Алаарча (л)					22.06.1953 1988 31.07.2012			Прорыв озера			
23	Аламедин	Р. Чу (л)	78	270	3340	620	22.06.1953г 07.1961г 1974г 4.08.1975г 26.05.1986г 8.1988г 08.1993г 21.07.2003г	3:0 1:0 - - - - - -	Грязи каменный Наносо-водный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный -	Прорыв оз. Таяния ледник Ливневой Ливневой Прорыв оз. Тезтор Прорыв оз Топкарагай - Ливневой	6,5 1,5 - - - - - -	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС Материалы инженерного геол. отряда Материалы инженерного геол. отряда Материалы инженерного геол. отряда	Q=400м3/с Разрушен гидропост Q=70м3/с Паводок достиг столицы затопил вблизи русло квартал Ущерб Q=10м3/с Q=10м3/с Сток подземный Q=5-8м3/с

24	Адыгене	Р. Алаарча (л)	9	38	3550	2080	18.06.1966г	-	Грязи каменный	Ливневой		УГМС	Q=4,89м3/с
25	Аксай	Р. Алаарча (п)	5,7	30	3440	2240	8.07.1960г	1:0	Грязи каменный	Прорыв внутри ледник емкостей	1,5	УГМС	Q=5-10м3/с
							07.1961г	-			-	Каталог1 967г	Q=5-10м3/с
							21.07.1965г	-	Грязи каменный	Таяния ледник	-	УГМС	Q=5-10м3/с
							18.08.1966г	-	-		-	УГМС	Q=5-10м3/с
							24.07.1968г	-	-		-		уничтожено
							25.07.1969г	0:15	Грязи каменный	Гляциальный	2,0	-	200 дер-х отложений
							18.07;2.08.1970г	-	-	Гляциальный	-	УГМС	погибло 3 человека
							4.08.1975г	-	-		-	-	Q=20м3/с
							07.20015	-			-		Q=5-10м3/с Q=30м3/с
26	Шаркыратма	Р. Аксай (п)	1,6	4,25	3060	2560	07.1961г	-	Грязи каменный	Таяния снежников	-	УГМС	
							20.07.2004г	-	Наносоводный	-	-	Каталог1 967г	
												Материалы	

												инженерного геол. отряда	
27	Кадыр-Берды			20,1			14.07.1966г		Наносоводный	-	-	УГМС	Q=3,34м3/с
28	Мурат-Сай						1993г 21.07.2003г 2005г ?		Грязи каменный Наносоводный	Ливневой Ливневой	- -	Материалы инженерного геол. отряда -	Q=15м3/с Размыв дороги
29	Кашкасуу	Алаарча (п)					14.06.1972г 12.06.1974г 4.08.1975г 26.07.1981г 28.06.1983г 26.05.1986г 21.07.2003г 20.07.2004г	1:30 Нет сведений 1:00 - - 1:30 -	Грязи каменный Наносоводный - Грязи каменный - Грязи каменный Наносоводный	Ливневой Ливневой - - Ливневой - Ливневой - Ливневой	- - - - - - - -	- УГМС УГМС - УГМС УГМС Материалы инженерного геол. отряда	Q=12м3/с Q=10м3/с Разрушил дамбу Q=30м3/с Разрушен пост, автодорога Изменено русло Разрушено дачные дома, мост через реку Алаарча, повреждено дорога.

												-	
30	Карагайбулак	Алаарча (п)		7,7			16.07.1966г	-	-	-	-	УГМС	Q=2,42м3/с
							21.07.2003г	-	Грязи каменный	Ливневой	-	Материалы инженерного геол. отряда	Q=15м3/с
							20.07.2004г	-	Наносо- водный	Ливневой			Разрушен мост. Поврежден дом Академии наук. Дорога завалено обломочным материалом.
31	Джеламыш	теряется	28	186	3680	1000	4.05.1958г	-	Грязи каменный	Ливневой	-	УГМС	Q=32м3/с
							4.07.1971г	-	-	-	-	Каталог1 967г	Q=19,5м3/с
							15.06.1972г	2:00	-	Ливневой	-	УГМС	Q=20,3м3/с
							15.06.1975г	1:20	-	Ливневой	-	УГМС	Q=33,9м3/с
							4.08.1975г	-	Грязи каменный	-	-	УГМС	Q=15м3/с
							13.06.1980г	-	-	-	-	УГМС	Q=14м3/с
							29.06.1981г	-	Грязи каменный	Ливневой	-	УГМС	
32	Конок	теряется	24	63,8	3090	800	04-08.1964г	-	-	Ливневой	-	УГМС	-
							18.05.1968г	-	-	-	-	Каталог1 967г	Q=11,8м3/с

33	Аксуу	Р. Чу (л)	155	1530	8270	515	15.06.1964г 06.1968г 22.06.1975г	- - 1:00	Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный	Ливневой Прорыв оз. Иша Ливневой	- - -	УГМС Каталог1 967г - УГМС	- Q=20м3/с сток подземный Q=40м3/с разрушен канал
34	Сокулук	Р. Аксуу (п)	87	563,5	3180	730	4.05.1958г 29.05.1969г 1980г 12.08.1983г	3:0 - - -	Грязи каменный - Грязи каменный Воднолед ово каменный	Ливневой - прорыв оз. Кейды Кучкач прорыв оз. Кейды Кучкач	1,5 0,5 - -	УГМС УГМС Отчет ККГЭ 1992г	Q=5-40м3/с Q=10,5м3/с Q=50м3/с Q=144м3/с с. Сокулук частично затопил
35	Четынды	Сокулук (п)	4,8	4,7	2080	1360	3.06;8.06:3. 08.1963г 15.07.1964г 22.07.1970г 8.08.1970г 12.07.1974г 10.06.1978г	2:1 0:40 - - - -	Грязи каменный - - - - Грязи каменный	Ливневой - - - - - -	1,0 - - - - -	УГМС Каталог1 967г УГМС - УГМС УГМС	Q=21,2м3/с Q=7,3м3/с Q=2,1м3/с Q=5м3/с

36	Минтукум	Р. Аксуу (л)	6,3	10	1700	1100	16.07.1955г 27.05; 3.06.1963г 7.07.1964г 15.07.1964г	1:0 1:0 1:3 0:4	Грязи каменный - - -	Ливневой Ливневой - - -	0,6 1,0 0,8 -	УГМС Каталог1 967г - - -	- Q=14м3/с - -
37	Джардысуу	теряется	19	44,5	3160	940	15.07.1964г	-	-	-	-	-	-
38	Карабалта	Р. Аксуу (л)	133	668	3450	1180	20.07.1958г 15.07.1964г 19.05.1970г	- - -	- - -	- - Ливневой	- - -	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС	- Снесено 2 линии электро передачи
39	Сай Яблоневого	Р. Карабалта (п)	2,5	3,6	1400	1160	4.07.1954г 9.07.1955г	2:0 0:40	Грязи каменный -	Ливневой -	1,2 1,0	УГМС -	-
40	Сарыджыгач	Р. Нооруз (п)	13	29,6	2010	1080	03-07.1964г	-	-	-	-	УГМС Каталог1 967г	-

41	Талдыбулак	теряется	6,0	12,2	1880	1060	07.1964г 28.06.1983г	- -	Грязи каменный Грязи каменный	Ливневой Ливневой	- -	УГМС Каталог1 967г УГМС	Размыто дамба
42	Иша	Р. Аксуу (Чуйская)	-	-	-	-	13.07.1968г	0:15	Грязи каменный	Прорыв оз. Кольтор	120000м3 селевая масса за 15мин.	УГМС	Снесены 3 коровы и несколько овец.
43	Чон-Кемин	-	-	-	-	-	15.07.1958г 9.07.1972г	- -	Грязи каменный Грязи каменный	Ливневой Ливневой	- -	УГМС УГМС	Q=189м3/с Q=108м3/с сель перегородил р. Чу
44	Кичи-Кемин	-	-	-	-	-	15.07.1958г 14.07.1964г 02.1965г 29.05.1969г		Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный -	Ливневой Ливневой Ливневой -	- - - -	УГМС УГМС УГМС УГМС	Разрушена дизельная станция, склад лесоматериалов, мост и автодорога Актюз. Q=149м3/с Разрушен мост через р. КичиКемин -

45	Калмакашу	-	-	-	-	-	13.07.1955г	-	воднокаменный	Ливневой	-	УГМС	Подмыто полотно ЖД, залиты склады, потоплено административное здание. (Рыбачье)
<b>Южный склон Киргизского хребта</b>													
46	Кельды	Р. Талас (п)	35	281	3360	1220	30.04.1956г	2:0	Грязи каменный	Ливневой	0,8	УГМС Каталог1 967г	Q=21,5м3/с
47	Ачыкташ	Р. Кельды (п)	14	44,4	2900	1460	30.04.1956г	2:0	Грязи каменный	Ливневой	0,8	УГМС Каталог1 967г	-
48	Чирканак	Р. Талас	-	-	-	-	20.06.1969г	-	Грязи каменный	Прорыв озера.	-	УГМС	Подмыт мост Q=1000м3/с повреждены гидрат сооружение. Q=20м3/с
							14.07.1976г	-	Грязи каменный	Прорыв озера.	-	УГМС	
							07.1991г	-	Грязи каменный	Джалпакто	-	-	
							07.1997г	-	Грязи каменный	р	-	Материалы инженерного	
								-	-	Прорыв озера.			-

										Джалпакто р		геол. отряда	Q=10м3/с
49	Бешбулак	Р. Талас	-	-	-	-	2.06.1972г 20.02.1973г	- -	Грязи каменный -	Ливневой -	- -	УГМС -	Q=200м3/с разрушен бетонный мост.  Q=42м3/с
50	Кенкол	Р. Талас	-	-	-	-	12.07.1974г	-	Грязи каменный	Ливневой	-	УГМС	Q=101,3м3/с  Снесен мост, засыпаны каналы, дороги, погибло 5000овец. Ущерб 608000руб
51	Карабура	Р. Талас	-	-	-	-	11.06.1962г 18.06.1975г 30.05.1977г 30.05.1980г 2.07.1981г 7.05.1986г	- - - - - -	- наносо- водный - - -	- Ливневый - - Ливневый -	- - - - - -	УГМС УГМС УГМС УГМС УГМС УГМС	Q=52м3/с  Q=57м3/с повреждена автодорога  Q=62,9м3/с
52	Сугаты	теряется	15,5	30,2	2280	890	30.04.1956г	2:0	Грязи каменный	Ливневый	-	УГМС	-

												Каталог1 967г	
53	Караарча	теряется	14	59,7	2360	940	04-06.1964г 14.03.1966г	- -	- Грязи каменный	- Ливневый	- -	УГМС Каталог1 967г УГМС	Q=10,4м3/с
<b>Северный склон Таласского Алатау</b>													
54	Каинды	Р. Бешташ (л)	5,2	16,8	3200	1840	04-07.1964г 29.04.1967г	- -	Грязи каменный -	Ливневый -	- -	УГМС Каталог1 967г УГМС	Q=19м3/с
55	Курусай	теряется	1,8	5,7	1620	1480	1-2.06.1964г	1:30	-	-	-	УГМС Каталог1 967г	Разрушены каналы.
56	Кокджар	Р. Карабура (л)	5,0	3,2	1900	1180	19.07; 30.07.1957г 11.06.1962г 8.05.1963г 16.05.1964г	2:0 2:0 2:20 0:30	Грязи каменный - -	Ливневый - - -	0,15-0,20 0,5-1,0 0,10 0,10	- - - -	- - - -
57	Эшме	Р. Карабура (л)	5,0	4,2	1500	1200	19.07.1957г	2:0	Грязи каменный	Ливневый	0,15-0,20	УГМС	-

							11.04.1962г	2:0	-	-	0,50-1,0	-	-
							8.05.1963г	2:0	-	-	0,1	-	-
							24.06.1964г	-	-	-	-	-	Q=34,5м3/с повреждена автодорога, каналы.
							16.05.1969г	-	наносо- водный	Ливневый	-	УГМС	Q=34,2м3/с повреждена автодорога
							23.05.1975г	0:35	Грязи каменный	-	0,3	УГМС	-
58	Карасуу	Р. Талас (л)	10,4	-	970	839	4-13. 06.1957г	-	Грязи каменный	Ливневый	0,8	УГМС	-
							27.05.1958г	2:0	-	-	0,25-0,3	Каталог1 967г	-
							05-08.1959г	-	-	-	-	-	-
							7.07.1964г	-	-	Ливневый	-	-	Q=34,2м3/с подмыто 2 моста.
							18.05.1972г	-	Грязи каменный	-	-	УГМС	-
59	Сулубаканд	Р. Талас (л)	21,7	189,7	3720	1400	11.08.1962г	0:40	Грязи каменный	Ливневый	-	Каталог1 967г	Погиб чабан и овец 50 голов, снесен мост, разрушен канал.
							23.05.1964г	2:0	-	-	-	-	-
							20.06.1964г	1:0	-	-	-	-	-

60	Куркуросу	Р. Асса (п)	60	612	3700	860	20.07.1954г 17.05.1960г 03.1966г 28.05.1982г	2:0 2:,0 - -	Грязи каменный - - -	Ливневый Ливневый Ливневый Ливневый	0,3-0,4 0,3 - -	Каталог1 967г УГМС - УГМС	Q=40,2м3/с затопил селхоз угодие. Значительный ущерб. - - -
61	Карабулак	Р. Талас	-	-	-	-	28.05.1991г	11:0	Грязи каменный	Ливневый	-	УГМС	-
62	Чамабай-булак	Р. Талас	-	-	-	-	28.05.1991г	11:0	Грязи каменный	Ливневый	-	УГМС	-
63	Талас (выше устье реки Учкошой)	-	-	-	-	-	14.06.1934г 15.07.1958г 30.06.1981г 6.07.1987г	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	УГМС УГМС УГМС УГМС	Q=153м3/с Q=81,2м3/с ущерб 350000руб. Q=159м3/с
<b>Бассейн озера Иссык-Куль</b>													
64	Калмаксуу	теряется	18	9	3560	2940	18.06.1955г	2:0	Грязи каменный	Ливневый	0,6	УГМС Каталог1 967г	-
65	Торуайгыр	теряется	30	169	3320	1850	12.09.1962г	1:30	Грязи каменный	Ливневый	0,3	УГМС	Q=44,4м3/с разрушено около 20

							17.07.1964г	3:0	Вводно- грязе каменный	Ливневый	-	Каталог1 967г	домов. Погибло 60 овец.
							5.07.1971г	-		Ливневый	-	УГМС	Q=43,5м3/с
							27.07.1973г	-	-	Ливневый	-	УГМС	
							22.07.1979г	-	-	Ливневый	-	УГМС	Q=98,7м3/с
							24.06.1980г	-	-	Ливневый	-	УГМС	затоплено дома в поселке Торуйгыр.
								-	-			Ущерб 200000руб	
66	Чолпон-Ата	Оз. Иссык- Куль	22	130	4100	1800	10-16. 08.1951г	-	Грязи каменный	Ливневый	0,5	УГМС	-
							19.06.1966г	-	Грязи каменный	Ливневый	-	Каталог1 967г	-
							4 -5.05 .1978г	-	Грязи каменный			УГМС	Q=23,2м3/с
												УГМС	
67	Тогузбулак	теряется	9,2	15,5	2680	1700	4-19. 08.1954г	1:50	Грязи каменный	Ливневый	0,40	УГМС	-
							28.07.1976г	-	Наносо- водный	Ливневый	-	Каталог1 967г	Q=10м3/с
												УГМС	подтоплено жилые дома в г. Чолпон- Ата
68	Караджилга	теряется	5,5	5,9	2580	1670	05-08.	-	Грязи каменный	Ливневый	2,0	УГМС	Ежегодные паводки селевого характера.

												Каталог1 967г	
69	Чонаксу	Оз. Иссык-Куль	53	352	3840	1900	15.07.1958г 19.06.1966г 27.07.1970 12.08.1982г 23.07.1986г	7:00 - - - -	Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный  -	Прорыв скопившейся воды.  Ливневый  Ливневый  Ливневый  -	5,0 - - - -	УГМС  Каталог1 967г  УГМС  УГМС  УГМС	Q=58,4м3/с снесено 4 моста  Q=37м3/с пострадали жилые дома, нефтехранилища.  Q=62м3/с  Q=65,6м3/с
70	Кызылджар	Р. Чон-Аксуу (п)	8,0	5,2	3760	2910	15.07.1958г 06.1975г	- -	Грязи каменный  Грязи каменный	Прорыв озера  Ливневый	6,0 -	УГМС  Каталог1 967г	Уничтожен лес площадью 15га
71	Ойтал	Оз. Иссык-Куль	19	53,9	3400	1810	22.07.1949г 15.07.1957г 19.06.1966г 06.1975г	0:15 - - -	Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный	Ливневый  Ливневый  Ливневый  Ливневый	- - - -	УГМС  Каталог1 967г  УГМС  УГМС	-  Q=53м3/с снесен мост.  -  -

72	Аксуу-Арасан	Р. Джиргалан (п)	45	513	4010	1653	30.06;1.07.1958г 05.1963г	- -	Грязи каменный Грязи каменный	Ливневый Ливневый	- -	УГМС Каталог1 967г УГМС	Уничтожен еловый лес площадью 2 га.
73	Чонкызылсуу	Оз. Иссык-Куль	48	302	3200	1610	11.07.1930 04.1951г 04.1952г 8.07.1953г 14.08.1954г 06.1956г 14.07.1956г 06.1957г 5.06.1959г 10.1966г 11.07.1968г	- - 1:20 - 1:00 1:30 2:00 2:30 - -	Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный	Прорыв озера Ливневый Ливневый Ливневый Ливневый Ливневый Ливневый Прорыв озера Чонкызыл суу.	- - - - - - - -	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС УГМС УГМС УГМС УГМС	- - - уничтожен еловый лес, поврежден автодорога. - - повреждены каналы, автодороги. Q=60м3/с
	Кичине кызылсуу	Чонкызылсуу	25	103			07.08.1952 26.06.1967		вдк	Прорыв озера			

74	Ирдык	Оз. Иссык-Куль	33	100	3840	1610	27.07.1964г 16.08.1967г 11.07.1968г	2:0 - -	Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный	Ливневый Ливневый Ливневый	- - -	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС	- - -
75	Барскаун	Оз. Иссык-Куль	45	352	3900	1610	07.1956г 27.07.1964г 22.05.1975г	2:0 - -	Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный	Ливневый Ливневый Ливневый	0,7 - -	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС	Повреждена автодорога. - Q=55,9м3/с
76	Тамга	Оз. Иссык-Куль	27	162	4000	1610	11;30.07. 1963г 16.07.1964г 12.08.1964г 12.07.1966г	- - - -	Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный Грязи каменный	Ливневый - прорыв озера -	2 - - -	УГМС Каталог1 967г УГМС УГМС УГМС	Q=83м3/с - - Q=36м3/с
77	Уубулак	Р. Тамга (п)	11	15	2410	1620	30.07.1963г	-	Грязи каменный	Ливневый	1,3	УГМС Каталог1 967г	-

78	Джалбарсты	Р. Тамга (п)	18	31,6	3760	1830	30.07.1963г	-	Грязи каменный	Ливневый	0,7	УГМС  Каталог1 967г	-
79	Тосор	Оз. Иссык-Куль	30	295	3810	1610	11.08.1963г 26.07.1965г 12.07.1966г 9.07.1995г	- - - 4:0	Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный	Ливневый  Ливневый  Ливневый  Прорыв озера.	- - - нет свед	УГМС  Каталог1 967г  УГМС  Данные института геологии	Разрушен мельница, каналы.  Q=65м3/с затоплено шахта Каджысай  -  разрушена 3 жилых кашара.
80	Актерек	Оз. Иссык-Куль	15	72,2	2070	1610	15.07.1958г 27.07.1973г 2.09.1977г 11.08.1982г	- - - -	Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный	Ливневый  Ливневый  Ливневый  Ливневый	1,50 - - -	УГМС  Каталог1 967г  УГМС  УГМС  УГМС	Снесен мост у села Кызылтуу, поврежден ЛЭП.  Q=11м3/с  Q=8,5м3/с  Q=24,5м3/с
81	Карасуу	Оз. Иссык-Куль	9,8	6,6	2090	1610	29.08.1952г	1:0	Грязи каменный	Ливневый	-	УГМС  Каталог1 967г	Человеческие жертвы.

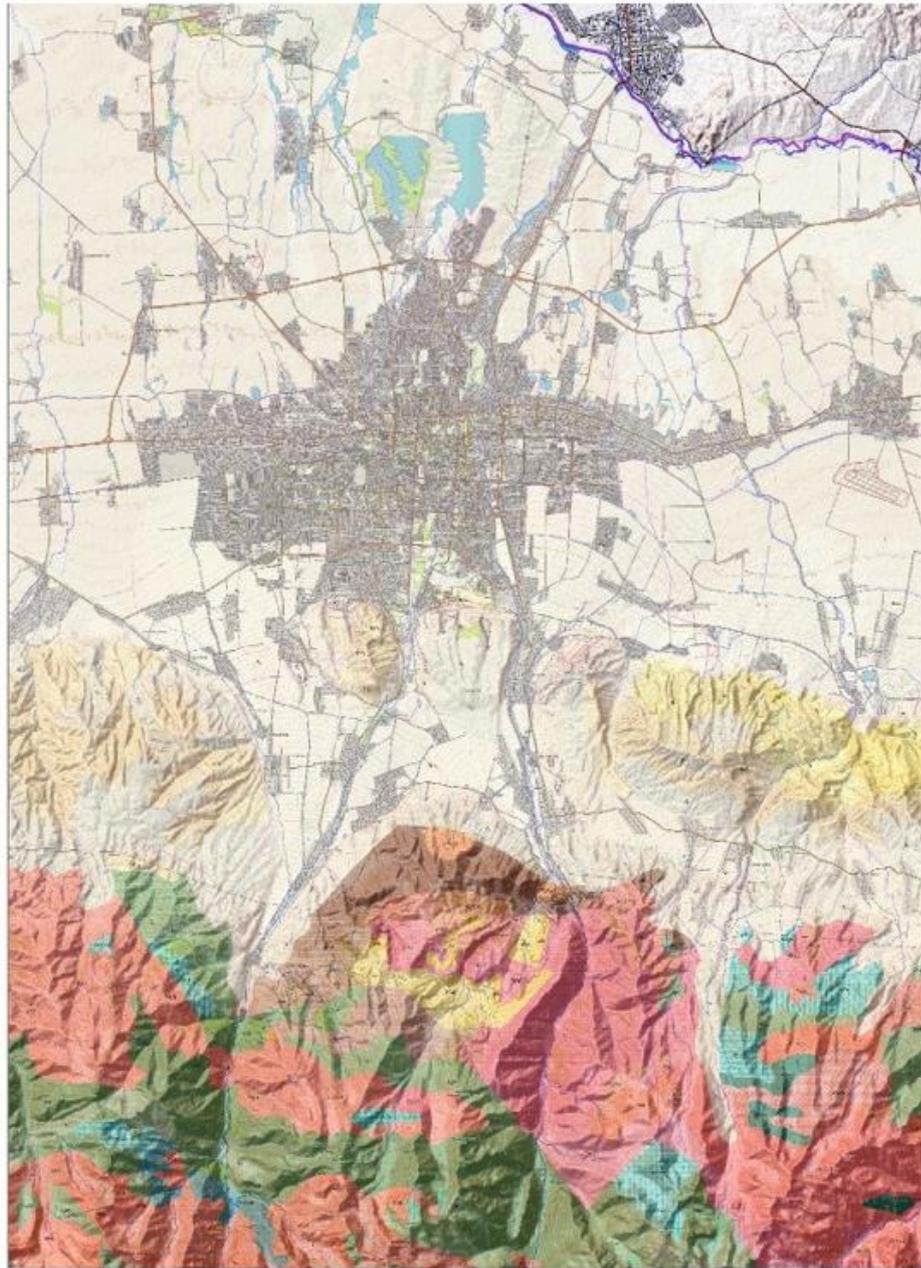
82	Ангисай (тон)	Оз. Иссык-Куль	-	-	-	-	14.06.1974г 17.06.1975г 25.06.1980г	- - -	Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный	Гляциальны  Прорыв внутри ледниковых емкостей  -	Нет свед.  Нет свед.  Нет свед.	УГМС  УГМС  УГМС	Q=104м3/с разрушена мост, дорога  Q=100 до 1000м3/с разрушено водосборные сооружение.  Q=1200м3/с снесены дороги и мосты.
83	Чоктал	Оз. Иссык-Куль	-	103	-	-	27.09.1978г 20.07.1979г 09.1999г	- - -	Грязи каменный  Грязи каменный  Грязи каменный	Прорыв озера Чоктал-1  Ливневый  Прорыв озера Чоктал-2	Нет свед.  Нет свед.  Нет свед.	УГМС  УГМС  Материалы инженерного геол. отряда	Q=1500м3/с разрушен водозабор, затоплены дома в с. Чоктал.  Q=20м3/с разрушена дорога.  Q=15м3/с
84	Чонкойсу	Оз. Иссык-Куль	25	17,5	3380	2000	19.06.1966г 14.06.1994г	- -	Грязи каменный  Грязи каменный	Ливневый  Прорыв озера	-  -	УГМС  УГМС	Q=21,4м3/с смыло 322 голов скота.
85	Тон. (с. Туурасуу)	Оз. Иссык-Куль	-	-	-	-	24.07.1978г 16.07.1980г	- -	Грязи каменный	Ливневый  Ливневый	-  -	УГМС  УГМС	Q=34,2м3/с ущерб 1млн. 104тыс. руб.

							2003-2004г	-	Грязи каменный Грязи каменный	Прорыв озера Туюк- тор-1	-	Материалы инженерного геол. отряда	-
86	Долинка	-	-	-	-	-	15.09.1970г 23.08.1980г	- -	Грязи каменный Грязи каменный	Ливневый Ливневый	- -	УГМС УГМС	Пострадали дома и дорога.  Погибло 36голов скота. Западная часть с. Долинка была затоплено.
87	Джеруй	-	-	-	-	-	1985г 20.07.1986г	- -	Грязи каменный Грязи каменный	Прорыв озера Суюк- тор.  Таяния лед.	- -	УГМС УГМС	Q=20м3/с ущерб 500тыс. руб.  Q=150-200м3/с
88	Кичикызылсуу	-	-	-	-	-	08.1952г	-	Водногря зе каменный	Прорыв озера Кичикызыл суу	-	-	Q=45м3/с уничтожен еловый лес.
89	Кашенка (Чонбойсорун)	-	-	-	-	-	06.1951г	-	Водногря зе каменный	Ливневый	-	УГМС	Затоплено западная окраина с. Кашенка.
	Четынды						1.08.1963			ливень			

**Нарынский регион**

90	Шамси (Кочкорское)	-	-	-	-	-	07.1987г	-	Грязи каменный	Прорыв озера Бузулгансу.	-	-	Q=10м3/с сток подземный.
91	Ат-Башы (устье р. Ачакаинды)	-	-	-	-	-	29.05.1956г	-	-	-	-	-	Q=204м3/с
92	Джумгал	-	-	-	-	-	23.05.1970г	-	-	-	-	-	Q=80м3/с

## Приложение 2. Геологическая карта бассейна реки Ала-Арча

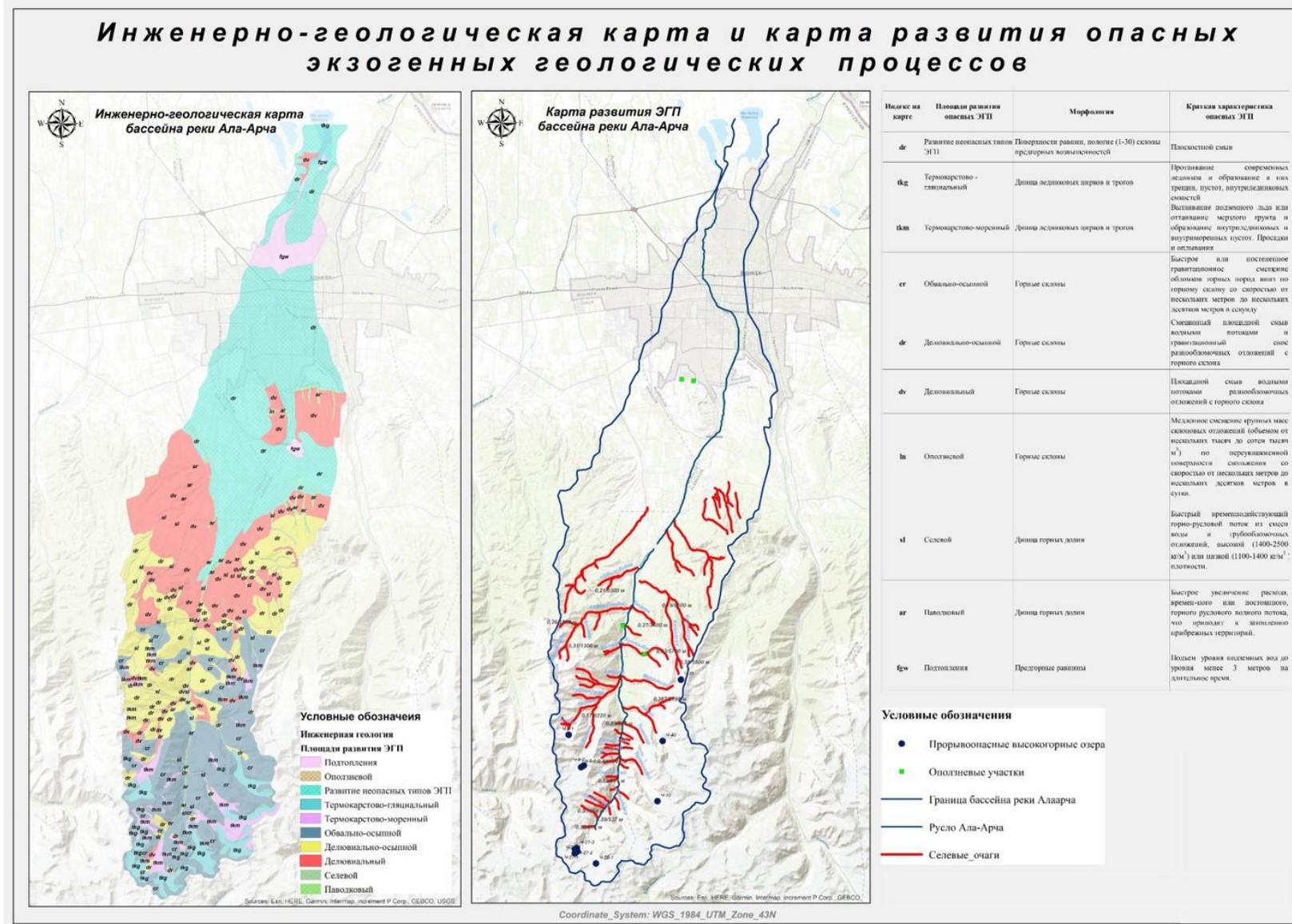


Масштаб 1:50 000

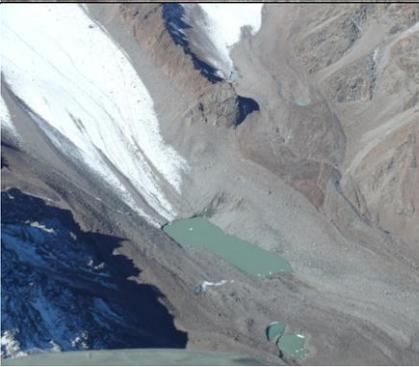
### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

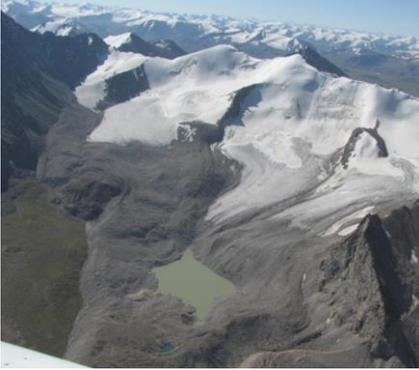
<p><b>ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ</b></p> <p>1. Тип местности: городская застройка</p> <p>2. Тип местности: сельская местность</p> <p>3. Тип местности: лесная местность</p> <p>4. Тип местности: водоемы</p> <p>5. Тип местности: рельеф</p> <p>6. Тип местности: растительность</p> <p>7. Тип местности: почва</p> <p>8. Тип местности: гидрогеология</p> <p>9. Тип местности: инженерно-геологические условия</p> <p>10. Тип местности: сейсмическая опасность</p>	<p><b>СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ</b></p> <p>1. Q - современные отложения</p> <p>2. N - неоген</p> <p>3. P - палеоген</p> <p>4. M - мел</p> <p>5. K - меловый</p> <p>6. J - юрский</p> <p>7. T - триас</p> <p>8. P - пермский</p> <p>9. S - силезский</p> <p>10. D - девонский</p> <p>11. C - карбоновый</p> <p>12. O - ордовикский</p> <p>13. S - силезский</p> <p>14. D - девонский</p> <p>15. C - карбоновый</p> <p>16. O - ордовикский</p> <p>17. S - силезский</p> <p>18. D - девонский</p> <p>19. C - карбоновый</p> <p>20. O - ордовикский</p>	<p><b>СТРУКТУРНЫЕ ОБЪЕКТЫ</b></p> <p>1. F - разрывные нарушения</p> <p>2. S - складчатость</p> <p>3. P - погружения</p> <p>4. R - рифты</p> <p>5. T - тектонические разрывы</p> <p>6. S - складчатость</p> <p>7. P - погружения</p> <p>8. R - рифты</p> <p>9. T - тектонические разрывы</p> <p>10. S - складчатость</p> <p>11. P - погружения</p> <p>12. R - рифты</p> <p>13. T - тектонические разрывы</p> <p>14. S - складчатость</p> <p>15. P - погружения</p> <p>16. R - рифты</p> <p>17. T - тектонические разрывы</p> <p>18. S - складчатость</p> <p>19. P - погружения</p> <p>20. R - рифты</p>
---	---	--

### Приложение 3. Инженерно-геологическая карта бассейна реки Ала-Арча



## Приложение 4. Моделирование возможных прорывов озер для р.Тон и Тосор

Озеро	Долина	#	Объем, м <sup>3</sup>	Расход, м <sup>3</sup> /с	Снимок	Последнее событие	Модель#1 Параметры	Simulation#1 Наихудший сценарий	Модель#2 параметры	Simulation#2 Нормальный сценарий
Джеруй (Четынды)	Тон	I-36	200 000 (2013)	Q <sub>initial</sub> =150 (2013) Q <sub>max</sub> =300 (2013)		2013	<i>Dierui 2013</i> t <sub>2</sub> =12000 V 200 000 Q <sub>max</sub> 300 μ=0.06 χ=200 ν=8		<i>Dierui norm</i> t <sub>2</sub> =15000 V 150 000 Q <sub>max</sub> 250 μ=0.05 χ=200 ν=8	
Зындан	Тон	I-167	150 000 (2022) 450 000 (2008)	Q <sub>initial</sub> =250 (2008) Q <sub>max</sub> =250 (2008)		2008	<i>Zyndan Ton 2</i> t <sub>2</sub> =15000 V 450 000 Q <sub>max</sub> 300 μ=0.08 χ=200 ν=8		<i>Zyndan Ton norm</i> t <sub>2</sub> =15000 V 150 000 Q <sub>max</sub> 250 μ=0.1 χ=200 ν=8	

<p><b>Четынды</b> 41°57'46.98"N 77°22'22.73"E</p>	Тосор	I-176	<p>350 000 <math>V_{max}</math> 1.4 <math>10^6</math></p>	<p>No histori cal events</p>		<p>- <u>Четынды Тосо r</u> <math>t_2=16000</math> <math>V</math> 1 400 000 <math>Q_{max}</math> 450 <math>\mu=0.03</math> <math>\chi=300</math> <math>\nu=8</math></p>		<p><u>Четынды Тосо r norm</u> <math>t_2=1000</math> <math>V</math> 350 000 <math>Q_{max}</math> 300 <math>\mu=0.07</math> <math>\chi=200</math> <math>\nu=8</math></p>	
<p><b>Тосор</b> 41°57'51.93" N 77°18'7.89"E</p>	Тосор	I-7	<p>150 000</p>	<p>No histori cal events</p>		<p>- <u>Тосор Тосор 3 out</u> <math>t_2=15000</math> <math>V</math> 150 000 <math>Q_{max}</math> 250 <math>\mu=0.05</math> <math>\chi=200</math> <math>\nu=8</math></p>		<p><u>Тосор Тосор 3 norm 3</u> <math>t_2=16000</math> <math>V</math> 100 000 <math>Q_{max}</math> 200 <math>\mu=0.05</math> <math>\chi=200</math> <math>\nu=8</math></p>	

Приложение 5. Моделирование возможных прорывов озер для р.Ала-Арча

Озеро	Долина	#	Объем, м <sup>3</sup>	Расход, м <sup>3</sup> /с	Снимок	Последнее событие	Модель# 1 Параметры	Simulation#1 Наихудший сценарий	Модель# 2 параметры	Simulation#2 Нормальный сценарий
Аксай	Ала-Арча	Ch-40	200 000	$Q_{max}=900$ (1969)		1960, 1961, 1965, 1968, <b>1969</b> , 2003 2015	<i>Test10</i> $t_2=25000$ $V$ 200 000 $Q_{max}$ 900 $\mu=0.03$ $\chi=200$ $v=8$		<i>Test</i> $t_2=25000$ $V$ 150 000 $Q_{max}$ 300 $\mu=0.05$ $\chi=200$ $v=8$	
Тезтор	Адыгене (Ала-Арча)	Ch-8	100 000	$Q_{max}=250$ $Q_{max}=400$ (1953)		1953 1988 2005 <b>2012</b>	<i>Тезтор 1953</i> $t_2=16000$ $V$ 400 000 $Q_{max}$ 400 $\mu=0.05$ $\chi=200$ $v=8$		<i>Тезтор nowdays</i> $t_2=18000$ $V$ 250 000 $Q_{max}$ 300 $\mu=0.08$ $\chi=200$ $v=8$	
Озеро Верхнее 42°27' 55.24" N 74°26' 32.27" E  Verhnee	Ала-Арча	-	35 000 (2017)	$Q_{max}=$ No historical events		No historical events	<i>Verhnee nowdays</i> $t_2=16000$ $V$ 30 000 $Q_{max}$ 100 $\mu=0.05$ $\chi=200$ $v=8$			

<p>Топка рагай</p> <p>N42.4 88012</p> <p>E74.5 2279</p>	<p>Ala- Archa</p>	<p>200 000 (1994)</p>	<p><math>Q_{max}=150</math></p>	<p>1974 <b>1994</b></p>		<p><i>Verhnee now days</i>  <math>t_2=16000</math>  <math>V</math> 200 000  <math>Q_{max}</math> 150  <math>\mu=0.05</math>  <math>\chi=200</math>  <math>\nu=8</math></p>		
---	-----------------------	---------------------------	---------------------------------	-----------------------------	--	--	--	---