



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Селевые потоки и методы
борьбы с ними**

Исполнитель **Чупин Игорь**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **доктор географических наук, профессор**
(ученая степень, ученое звание)

Барышников Николай Борисович
(фамилия, имя, отчество)

Научный консультант **доктор географических наук, профессор**
(ученая степень, ученое звание)

Мякишева Наталия Вячеславовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

И. Г. И.
(ученая степень, ученое звание)

Игорь Чупин
(фамилия, имя, отчество)

«28» *май* 2017г.

Санкт-Петербург
2017

Титульный лист по ГОСТу

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.	3
1 Происхождение и классификация селей.	5
2 Географическое распределение селей.	8
3 Физико-географические условия территории Республики Таджикистан.	31
3.1 Климат территории Республики Таджикистан.	31
3.2 Гидрологическая изученность.	32
4 История исследования селевых потоков Таджикистана.	33
5 Определение показателей селеопасности территории.	41
5.1 Показатели селеопасности территории.	41
5.2 Постановка цели и задач исследования.	55
5.3 Методика оценки экономического риска селевых потоков МГУ.	55
5.3.1 Оценка индивидуального и коллективного риска селевых потоков.	56
5.3.2 Методика оценки экономического риска селевых потоков	58
5.4 Методика многокритериального оценивания рисков селевых потоков.	63
6 Защита от селевых потоков.	74
6.1 Метод прогнозирования селей.	74
6.2 Борьба с селями.	77
Заключение.	82
Список использованных источников.	83
Приложение А – База данных прошедших селей в Республике Таджикистан.	86

ВВЕДЕНИЕ

В глобальной проблеме безопасности катастрофические природные явления рассматриваются в числе наиболее важных дестабилизирующих факторов, которые препятствуют устойчивому развитию человечества. По мнению академика В.И. Вернадского, земную поверхностную оболочку следует рассматривать не только как область материи, которую мы активно используем в виде минеральных ресурсов, но и как область энергии. Преобразования энергии, происходящие в земной коре, на ее поверхности и в слоях смежной с ней атмосферы, выражаются в развитии множества катастрофических природных процессов.

Статистический анализ катастрофических событий показывает, что их число неуклонно растет как в мире в целом, так и в отдельных странах. Это означает, что развитие техносферы на Земле идет без достаточного учета пространственного распределения природных опасностей и создания инженерной защиты.

Таджикистан является одной из стран, наиболее подверженных стихийным бедствиям. Активное осваивание гор провоцирует увеличение разрушительных природных процессов, к числу которых относятся селевые потоки. В результате нарушения природного баланса сели появляются в тех местах, где раньше их не наблюдалось. Этим обусловлена необходимость исследования закономерностей и причин возникновения, распространения и развития селевых явлений. Комплексный подход позволит учесть существующую и возможную опасность на стадиях планирования и проектирования, а также научно обосновать меры защиты от селей.

Стихийные бедствия оказывают негативное воздействие на населенные пункты, угрожают жизни людей, разрушают инфраструктуру и создают препятствия на пути дальнейшего социально-экономического развития. Развитие народного хозяйства на территории Таджикистана в

целом невозможно без оценки опасности селей как одного из самых опасных природных процессов.

Информация в форме региональных оценок риска стихийных бедствий крайне необходима для подготовки планов долгосрочного социально-экономического развития как отдельных территорий, так и для страны в целом, а также для планирования действий по смягчению последствий и реагирования на чрезвычайные ситуации природного характера. Кроме того, правительственные учреждения, работающие в области снижения риска бедствий, в настоящее время не располагают необходимыми инструментами для оценки рисков и остро нуждаются в них, наряду с укреплением их существующего потенциала. Это предопределило необходимость разработки методологии для оценки риска селевых потоков.

1 Происхождение и классификация селей

Сель - временный горный поток, состоящий из смеси воды и рыхлообломочной породы. Сели возникают во время особенно интенсивных ливней или при прорыве моренных озер и других ледниковых водоемов в результате взаимодействия воды и рыхлообломочных пород в котловинах и ущельях с большими склонами. Основные признаки селевых потоков: внезапность и короткая продолжительность[1].

Для селеобразования необходимы три условия. Первым, определяющим возможность их образования в данном горном речном бассейне, является наличие на склонах и в слоях достаточного количества продуктов разрушения горных пород, необходимых для образования твердой фазы селевого потока. Второе условие - наличие достаточного количества воды (стока) для промывки или сноса и движения вдоль слоя рыхлообломочного материала, по которым этот материал будет перемещаться с участием водной составляющей, транспортирующей его и обеспечивающей его движение как организованного потока. Третьим неизменным условием является сильно расчлененный горный рельеф, который определяет наличие больших уклонов склонов и каналов.

Сели являются одним из наиболее страшных природных бедствий в горных районах. Главным свойством селевых потоков является соотношение твердого и жидкого веществ, характеризующееся их плотностью. Плотность селей изменяется в довольно широких пределах - от 300 до 2500 кг/м³. Наряду с плотностью поведение селевого потока определяется его составом, т.е. относительной массой частиц разных размеров.

В зависимости от состава и плотности селевой массы различаются три типа селей: наносоводные, грязевые и грязекаменные. Определить точные границы значений плотности для отдельных типов селей, как

указывает Ю.Б. Виноградов[2], не представляется возможным, но приближенные значения можно привести достаточно надежно: для наносоводных – 1100 – 1500 кг/м³; грязевых – 1500 – 2000 кг/м³ и грязекаменных селевых потоков – 2100 – 2500 кг/м³.

Наносоводный селевой поток - это поток, возникающий при прохождении сильного паводка, срывающего крупнообломочный материал и переносящего большое количество взвешенных наносов и донных отложений за счет больших уклонов и расходов воды.

Грязевой селевой поток высокой плотности состоит из небольших отложений селевого раствора высокой концентрации с включением обломков горных пород.

Грязекаменный селевой поток представляет собой поток с высокой плотностью, состоящий из фрагментов горной породы, промежутки между которыми заполнены небольшими частицами наносов (грязи).

Как уже отмечалось, для возникновения селей необходима комбинация трех условий: прохождение интенсивного ливня, наличие очага скопления обломочных пород и больших уклонов. Кроме того, селевые потоки могут возникать при разрушении различных типов плотин естественного происхождения, подпирающих озера, которые образовались при этом (моренного, ледникового и другого вида происхождения).

Исходя из этого, исследователей интересует величина критических значений уклонов горных склонов и интенсивность ливней, вызывающих селевые потоки. К сожалению, анализ результатов исследований в этом направлении позволяет констатировать, что рекомендации по этим проблемам, как правило, носят региональный характер. По-видимому, это связано с наличием значительного числа факторов, которые в определенных условиях являются детерминантами, которые нельзя учесть при разработке метода расчета.

Селевые потоки наносят огромный ущерб как национальной экономике, так и отдельным жителям, разрушая промышленные

предприятия и населенные пункты. Поэтому люди ведут борьбу с ними несколько столетий.

2 Географическое распределение селей

Изучение распространения селевых явлений на обширной территории Земли выявило, что сели высокой и низкой плотности формируются практически во всех горных системах, а также в преобладающей части предгорных и низкогорных районов[3].

Рассмотрим в общих чертах особенности развития и распространения селевых явлений на достаточно характерных примерах селевых районов

Северный Кавказ и Закавказье

Изучение селевых явлений началось со второй половины прошлого столетия. Наиболее крупные селепроявления Кавказа приурочены к высокогорной зоне и часто бывают связаны с верхнечетвертичными моренами, на которых формируются как гляциальные, так и дождевые грязекаменные потоки. Так, в 1940 г. в долине р. Адырсу (бассейн р. Баксана) селевым потоком высокой плотности было вынесено около 3 млн. м³ твердого материала.

К первой категории селеопасности С. Г. Татошвили и Г. И. Херхеулидзе отнесены значительная часть южного склона Большого Кавказа, бассейн р. Терека, северный склон центральной части Цивил-Гомборского хребта, южная часть Армянского нагорья и район г. Алаверды. В пределах Армении преимущественно формируются наносоводные сели, поэтому частота прохождения таких потоков достаточно высокая. Так, в районе г. Мегри селевые явления наблюдаются почти ежегодно, а иногда и 2—3 раза в год.

Грязекаменные потоки наносят значительный ущерб народному хозяйству в районах городов Кварели, Закаталы, Шеки и других, находящихся у подножия южных склонов Большого Кавказа.

Ко второй категории относятся бассейны рек северного склона Центрального Кавказа и южного склона западной части Большого Кавказа, где преобладают грязекаменные потоки, а также склоны Сомхетского, Триалетского хребтов и др. Наиболее крупные селепроявления наблюдались на реках Козлучай, Таузчай, Гетар и др.

На остальной горной части рассматриваемой территории селепроявления соответствуют масштабам третьей категории селеопасности. В пределах равнинной части территории селевые явления отсутствуют.

Украина

Наиболее развиты селевые явления в пределах Карпат. В этой горной системе за 1900—1941 гг. отмечено шесть летних сезонов с селепроявлениями, а за последующие 30 лет они наблюдались 15 раз, т. е. налицо явное увеличение селевой активности. Последнее некоторые исследователи объясняют бессистемной вырубкой леса [4].

В Карпатах селепроявления, среди которых преобладают наносоводные потоки, связаны с выпадением ливневых осадков. Грязекаменные потоки сравнительно небольшие и формируются на ограниченной части территории. Суммарный объем селевых паводков от 0,03 до 6,9 млн. м³, из них объем воды 0,03—6,0 млн. м³. Расходы наносоводных селей от 5 до 250 м³/с. Чаще всего они формируются дождями (50—100 мм/сут, 53% всех случаев и 20—50 мм/сут, 30% случаев). Осадки более 100 мм/сут сравнительно редки и выпадали в 14% всех случаев селепроявлений. Небольшие дожди (10—20 мм/сут) сформировали только 3% из наблюдавшихся селей.

В Крыму также преобладает формирование наносоводных селей. Их твердая часть образуется за счет размыва речных отложений и смыва рыхлообломочных пород с обнаженных склонов. Селевые потоки низкой плотности с насыщенностью твердым материалом до 330 кг/м³ чаще всего формируются на относительно небольших водосборах, являющихся

составляющими более крупных бассейнов. Грязекаменные потоки возникают сравнительно редко и на ограниченных участках.

Селевые явления низкой плотности отмечены на глубоко расчлененных возвышенностях Подольского Приднестровья, Каневского и Днепропетровского Приднепровья. Насыщенность таких потоков твердым материалом составляет 300—500 кг/м³, в некоторых случаях на короткий промежуток времени она может достигать 1000—1200 кг/м³, т. е. характеризоваться консистенцией грязевых потоков.

Молдавия

Селевые явления связаны с районами распространения холмистого рельефа, сложенного легко размываемыми грунтами. В их пределах развиты оползни и овражная эрозия. При выпадении ливней редкой повторяемости (суточная сумма осадков 1%-ной обеспеченности составляет 130 мм) формируются своеобразные сели, которые иногда называют овражными выносами. Они образуются в оврагах и балках длиной до 1 км, которые приурочены к долинам рек Днестр, Прут, Реут, Икель, Роковец и Чугур. Это преимущественно наносоводные потоки и гораздо реже грязевые. Повторяемость селевых явлений 1 раз в 3—10 лет.

Кольский полуостров

В пределах этой территории селевые явления развиты в горных массивах Хибин и Ловозерских тундр. Эти горы отнесены к третьей категории селеопасности. Кроме вышеназванных селевые явления имеют распространение и в Волчьих и Сальных тундрах, массиве Чильтальд, Кандалакшских и Колвицких горах. В основном это наносоводные и водоснежные потоки. Грязекаменные потоки имеют ограниченное распространение, чаще всего в пределах склонов. Формирование селей преимущественно происходит весной в течение короткого промежутка бурного снеготаяния, которое усиливается при выпадении дождей. В

некоторых случаях сели образуются в пределах гор в результате нерациональной хозяйственной деятельности.

Северный, Приполярный и Полярный Урал

Селевые явления в горной части Республики Коми ранее не наблюдались, и о возможности их проявления можно судить только по следам, оставленным сравнительно небольшими грязекаменными потоками. Наносоводные потоки распространены более широко и чаще всего бывают приурочены к периоду снеготаяния с выпадением дождей.

В бассейнах рек Косью, Вынгыра, Кышма, Приполярного Урала, а также в бассейнах Полярного и Северного Урала И. М. Жилой отмечены селевые очаги, располагающиеся преимущественно на безлесных склонах в пределах горно-тундровых и гольцовых ландшафтов. Селепроявления данной территории по своим масштабам соответствуют третьей категории селеопасности.

Алтай, Кузнецкий Алатау

В пределах этой горной территории селевые явления развиты достаточно широко, но масштабы селепроявлений, за некоторым исключением, сравнительно невелики. В хребтах Катунском, Северо-Чуйском, Южно-Чуйском и Нарымском с районами распространения оледенения связано формирование гляциальных селей. Масштабы последних соответствуют второй категории селеопасности. Большинство селепроявлений связано с выпадением в июне — августе ливневых дождей. При этом местами количество осадков за сутки может достигать, по данным В. А. Виноградова, 100 мм (Кузнецкий Алатау). Для остальной территории средняя сумма суточных осадков обычно составляет около 50 мм.

Грязекаменные потоки чаще всего формируются на бортах крупных речных долин (например, в районе Телецкого озера). Аналогичные селевые

явления характерны для всего высокогорья описываемой территории. Эти районы отнесены к третьей категории селеопасности.

Значительная водность рек обычно приводит к поглощению селевой массы грязекаменных потоков, которая лишь частично участвует в бытовом и паводочном твердом стоке. Среднегорные районы этой территории характеризуются ярко выраженным паводочным режимом и образованием наносоводных селей.

Западный и Восточный Саяны

Особенности селепроявлений Саян в значительной мере идентичны Алтаю. Различия наблюдаются в морфологических особенностях хребтов и режиме выпадения осадков. Грязекаменные потоки формируются преимущественно на участках вблизи верхней границы горно-таежного пояса с частичным распространением в его пределах.

Для среднегорного пояса Саян характерно преимущественное развитие паводков и селевых явлений низкой плотности.

Горные районы Саян в основном характеризуются селепроявлениями в пределах третьей категории селеопасности. На отдельных участках масштабы селевых явлений соответствуют второй категории.

Прибайкалье

В Южном Прибайкалье наиболее селеносной территорией является северный склон хр. Хамар-Дабан.

На запад от р. Слюдянки и на востоке от р. Переёмной количество селевых очагов, преимущественно расположенных в пределах горно-таежного пояса, заметно уменьшается. Грязекаменные потоки проходят по руслам ручьев Галанского, Банного, Ямного и рек Харлахты, Большой и Малой Осинюк и др. Масштабы селепроявлений в основном соответствуют третьей категории селеопасности, а на некоторых участках — второй.

Селевые явления третьей категории селеопасности характерны для участка Приморского хребта от поселка Култук до истока Ангары.

Дальний Восток и Приморье

Более половины территории занимают горы, которые с высоты 1200—1600 м характеризуются типичными высокогорными ландшафтами. Альпийским формам рельефа высокогорий присущи реликты древнего оледенения (ледниковые цирки, кары, моренные отложения). Почти повсеместно развита многолетняя мерзлота.

Значительное количество жидких осадков (осадки 1%-ной обеспеченности в Приамурье достигают 100—150 мм, а в южной части Приморья — 200—250 мм и более) благоприятствует развитию селевых явлений. Распределение последних по территории крайне неравномерное. Так, в центральной части хр. Сунтар-Хаята не обнаружено следов селепроявлений, несмотря на современное оледенение и типичный альпийский рельеф. В восточной части хребта наблюдается значительное распространение селевых очагов. Селепроявления выявлены и на малых притоках рек Охоты, Ульбеи, Ини, а также на западном склоне Юдомского хребта. Селевые очаги широко распространены в пределах Юдомо-Майского нагорья. В горном массиве Джугджур селевые явления развиты в центральной части.

Южные склоны хребтов Кеткан, Мурикан, Тыльский и Голец Облачный характеризуются значительным распространением селевых очагов, в которых обычно формируются грязекаменные потоки. В восточной части Станового хребта формирование последних приурочено к высотным отметкам 1800—2000 м. В хр. Сихотэ-Алинь наиболее селеактивными являются верховья рек Кемы, Максимовки, Самарки, Кабаньей и Арму, располагающихся на восточном склоне гор.

Вышеперечисленные районы отнесены к третьей категории селеопасности. Некоторые селевые бассейны в хребтах Сунтар-Хаята,

Джугджур, Тыльского соответствуют по масштабам селепроявлений второй категории селеопасности.

Сахалин

В пределах острова селевые явления в основном распространены в южной части прибрежных районов. На характер формирования грязекаменных потоков существенное влияние оказывает геологическое строение гор. Селепроявления наблюдаются в июле — августе при выпадении жидких осадков, а также весной — в период снеготаяния. Наносоводные сели формируются реже. По степени селеопасности соответствуют третьей категории. Сравнительно небольшие грязекаменные потоки наносят существенный ущерб народному хозяйству, разрушая в прибрежной полосе железные и шоссейные дороги.

Камчатка

В горных районах полуострова в пределах хребтов Срединного, Восточного, Ганальского, Валагинского и на Корякском нагорье при выпадении интенсивных ливней, а в некоторых случаях и в результате снеготаяния в приводораздельной части гор формируются грязекаменные потоки. В пределах Срединного хребта наиболее селеактивными являются бассейны рек Кахтаны, Паланы, Дронки, Шаманки.

Вулканогенные сели формируются в районах современного вулканизма. Наиболее грандиозным из них был грязекаменный поток, связанный с мартовским извержением 1956 г. вулкана Безымянного, находящегося в Ключевской группе вулканов. Этот поток, по ориентировочным подсчетам Г. С. Горшкова и Г. Е. Богоявленской, имел объем около 500 млн. м³ селевой массы. В русле р. Сухой Хапицы селевые отложения на протяжении 15 км имели мощность до 20 м. Поток преодолел расстояние около 90 км и достиг р. Камчатки. В последней вода

была настолько насыщена взвешенными частицами, что в Усть-Камчатске ее в течение недели нельзя было употреблять даже для технических целей.

Несколько меньшими масштабами характеризовался сель, вызванный извержением вулкана Шевелуч (ноябрь 1964 г.). Грязекаменные потоки прошли по долинам рек Байдарной и Сухой Бекешы. Протяженность их, по данным Т. С. Краевой, составила не более десятка километров. О мощи потока свидетельствовали многочисленные лесные завалы и оставленные им в сухих руслах глыбы размером до 3—5 м. Вулканические районы Камчатки отнесены к первой категории селеопасности, а бассейн р. Сухой Хапицы — к высшей.

На склонах потухших вулканов, в частности Ичинской сопки, во время выпадения ливней или выброса ледниковых вод образуются достаточно мощные грязекаменные потоки, соответствующие второй категории селеопасности.

В горных районах, где нет современного вулканизма, масштабы селепроявлений обычно соответствуют третьей категории селеопасности. В их пределах, за исключением предгольцовой и гольцовой зон, преимущественно формируются наносоводные сели.

Зарубежная Европа

На территории Западной Европы селевые явления наиболее распространены в пределах Альп, в Скандинавских горах и в горной части Исландии.

Альпы

В Альпах с их сложным морфологическим и геологическим строением и разнообразным климатом имеются все необходимые условия для развития селевых явлений. Наличие современного оледенения и значительная интенсивность выпадения жидких осадков, которая, по данным Г. Аулицки [5], достигает 5,4 мм/мин а в Баварских Альпах даже

до 15 мм/мин, способствуют формированию крупных селей, по масштабам селепроявлений соответствующих первой и второй категориям селеопасности.

Прорывы моренных озер происходят повсеместно. При сбросе воды из таких озер, как и из внутриледниковых емкостей, обычно формируются достаточно мощные грязекаменные потоки.

Ливневые сели в Альпах образуются сравнительно часто и в некоторых случаях приводят к катастрофам. По масштабам явлений они обычно соответствуют второй и третьей категориям селеопасности. Наиболее селеопасными районами являются долины рек Мур, Инн, Дюране и Изор. В последних максимальные расходы селей достигают 500 м³/с, а объемы вынесенного рыхлообломочного материала — 1 млн. м³.

Скандинавия

Скандинавские горы, располагаясь большей частью в пределах календонских складчатых структур, не образуют непрерывной цепи, а состоят из большого числа плоскогорных массивов и хребтов, разделенных тектоническими долинами. На значительной части территории жидкие осадки 1%-ной обеспеченности достигают 70—100 мм и более. Мощные селевые явления наблюдаются в западной и юго-западной частях полуострова.

Гляциальные селевые явления чаще всего возникают в пределах высоких массивов гор, имеющих оледенение, вследствие прорывов ледниково-подпрудных озер и распространены на сравнительно небольшой части территории.

В основном в Скандинавских горах формируются ливневые сели [6]. На крайнем юго-западе полуострова были отмечены грязекаменные потоки, по масштабам явлений соответствующие второй категории селеопасности. В других районах этой горной страны селевые явления

высокой и низкой плотностей обычно не превышают значений, соответствующих третьей и четвертой категориям.

Исландия

Большую часть Исландии занимает плато, над которым возвышаются отдельные горные массивы и вулканы. Благодаря своеобразному сочетанию интенсивной вулканической деятельности, современного оледенения и холодного морского климата создаются благоприятные условия для развития селевых явлений.

Вулканогенные сели образуются во время извержения вулканов Аскья, Гримсвётн, Катла и Гекла. По масштабам селепроявлений они соответствуют высшей и первой категориям селеопасности.

По данным С. Тораринссон, прорывающиеся ледниковые озера чаще всего связаны с ледн. Ватнайёкудль. Наиболее крупное из них — ледниково-подпрудное оз. Греналоун, которое с 1901 г. периодически прорывается. При этом формируются наносоводные сели с максимальными расходами до 5—6 тыс. м³/с.

На остальной части территории Исландии обычно образуются ливневые сели низкой плотности, по масштабам селепроявлений соответствующие третьей категории селеопасности.

Карпаты

Геологические и климатические условия Карпат способствуют в большей мере формированию селевых потоков низкой плотности. Грязекаменные потоки обычно образуются на сравнительно небольших участках в Западных и Южных Карпатах. Наиболее часто селевые явления наблюдаются на реках Будзен, Добруджа и Лотру. Максимальные селевые расходы на этих реках достигают 200—250 м³/с.

Масштабы селепроявлений в пределах Карпат обычно соответствуют второй, третьей и четвертой категориям селеопасности.

Горы Средиземноморья, возвышенности Центральной Европы, Великобритании и Ирландии

Селевые явления также наблюдаются на Балканах, Апеннинах, Пиренеях и островах Крит, Корсика, Сицилия, Сардиния. Наиболее крупные из них, соответствующие первой категории селеопасности, связаны с извержениями вулканов Этны и Везувия. На остальной части вышеназванной территории формируются ливневые сели преимущественно низкой плотности, а в некоторых местах наблюдаются и грязекаменные потоки. Масштабы селепроявлений обычно в пределах второй — четвертой категорий селеопасности.

Центральный Французский массив, Вогезы, Судеты и Чешский массив характеризуются развитием селевых явлений низкой плотности, связанных с выпадением жидких осадков. Во Французском массиве в районе Совенны отмечено формирование грязекаменных потоков. В вышеназванных среднегорьях масштабы селепроявлений обычно в пределах второй категории и ниже.

Селевые явления ливневого генезиса развиты на севере Великобритании и в северо-восточных и восточных районах Ирландии. Эти явления могут наблюдаться практически в любое время года, но преимущественно формируются в августе. Здесь были отмечены селевые потоки как низкой, так и высокой плотности. Масштабы селепроявлений обычно в пределах третьей — четвертой категорий селеопасности.

Шпицберген

На Шпицбергене селевые явления чаще всего связаны с прорывами ледниковых озер. Так, в 1975 г. известен случай прорыва оз. Сетеватнет, вызвавший формирование наносоводного потока. На свободной от льда территории при выпадении ливней образуются грязекаменные потоки. Например, в 1972 г. по р. Логгйер прошел грязекаменный поток, объем

отложений которого составил 1000—2000 м³. Обычно масштабы селепроявлений в этом районе соответствуют третьей — четвертой категориям селеопасности.

Зарубежная Азия

Более 75% территории Зарубежной Азии занимают горные хребты, нагорья, плоскогорья и плато различной высоты и разнообразного строения. Наличие ряда климатических поясов создают на территории материка уникальные природные условия, способствующие широкому развитию селевых явлений.

Западная Азия

На этой территории преимущественно распространены нагорья, протянувшиеся от Эгейского моря до Сулеймановых гор и Памира. Эти горные образования в основном представлены плоскогорьям. По линиям разломов альпийских поднятий активизировался вулканизм, наиболее ярко проявившийся на Армянском нагорье.

Вулканы последнего образуют линейно вытянутые хребты, для которых типичны многочисленные разломы и значительная трещиноватость горных пород, способствующая накоплению на склонах рыхлообломочного материала. Но сравнительно небольшое количество осадков (до 750 мм в год) и достаточно равномерное их распределение внутри года не создают условий для формирования крупных селевых потоков, объемы которых часто близки к 50 тыс. м³.

Третьей категории соответствуют и масштабы селепроявлений Иранского нагорья. Развитие селевых явлений в этом районе: обычно бывает связано с зимними вторжениями тропического воздуха в пределы северной части нагорья, которые вызывают оттепели, приводящие к таянию снега в горах и развитию селевых процессов.

Некоторое увеличение селевой активности отмечено в Туркмено-Хорасанских горах и Центральном Копетдаге. Здесь преобладают селевые явления низкой плотности, связанные с максимумом выпадения осадков в марте — апреле ($H_{1\%}$ — до 70 мм и более). Минимальные расходы наносоводных потоков до $80 \text{ м}^3/\text{с}$, а объемы — до 30 тыс. м^3 .

В пределах характеризуемого региона наибольшая селевая активность отмечена в Парапамизе, Средне-Афганских горах и Гиндукуше. Многочисленные селевые явления фиксировались вдоль дороги Кабул — Пули — Кумри, пересекающей Гиндукуш. В Афганистане в провинции Гильменд селевые потоки формируются в период снеготаяния сопровождаемого выпадением ливневых дождей. Масштабы селепроявлений обычно соответствуют второй категории селеопасности. В высокогорной зоне Гиндукуша — гляциальные селепроявления первой категории селеопасности.

Юго-Западная Азия

В этот регион входит Аравийский полуостров, Месопотамия и Сирийско-Палестинские горы. В его пределах преобладают тропические и субтропические пустыни и полупустыни, занимающие более 80% территории.

Почти для всей Юго-Западной Азии выпадение осадков, чаще всего ливневых, имеет случайный характер. Так, в некоторых районах по несколько лет кряду не наблюдается ни одного дождя, но за время ливней, преимущественно в зимний период года, за сравнительно короткий промежуток времени может выпасть до нескольких десятков миллиметров дождя. Наиболее увлажненным районом являются горстовые поднятия Йемена, на западных склонах которых за год может быть до 1000 мм осадков ($H_{1\%}$ составляет 30—50 мм).

Для внутренних районов Аравийского полуострова характерно распространение эпизодических водотоков (вадей), не имеющих

постоянного стока даже в верховьях. При выпадении ливней в вадях формируются наносоводные потоки, которые обычно преодолевают сравнительно небольшие расстояния. На юге полуострова, в пределах столовых возвышенностей, ливни вызывают формирование более мощных селей низкой плотности.

Центральная Азия

Этот регион расположен в континентальном секторе южной части умеренной зоны и при значительной площади характеризуется сравнительно однообразным климатом. Наибольшее количество осадков выпадает на северных склонах Тянь-Шаня и в юго-восточной части Куньлуня.

На юго-западных склонах Монгольского Алтая и в хр. Хангай (бассейн р. Селенги) масштабы селепроявлений в пределах третьей категории селеопасности. В высокогорных районах возможны сели гляциального происхождения. Для южных склонов Гобийского Алтая с его многочисленными сухими руслами характерны селевые явления низкой плотности.

В Восточном Тянь-Шане преимущественно формируются грязекаменные потоки. Их развитию способствуют сложность строения и расчлененность рельефа, широкое распространение оледенения, значительные температурные контрасты и существенные изменения в степени увлажнения. Масштабы селепроявлений в пределах наиболее высоких поднятий этой горной страны соответствуют второй, а на некоторых участках и первой категориям. На окраинах хребтов — обычно третьей категории селеопасности.

Селевые явления в Алтынтаге и Нанынгане более развиты в районах оледенения, а также в тех частях хребтов, где происходит увеличение крутизны склонов и количества выпадающих осадков (в частности, в восточной части Наньшаня).

Большая сухость воздуха в западной части Куньлуня определяет высокое положение снеговой линии (до 4700—5000 м). Для этой части горной системы характерно наиболее глубокое расчленение рельефа. Восточный Куньлунь отличается сравнительно небольшим относительным превышением рельефа и слабым расчленением склонов. Селевая активность здесь сравнительно невысокая и заметно увеличивается в юго-восточной части Куньлуня (Сино-Тибетских горах).

В пределах Лессового плато с его средневысокими хребтами широко развита овражная эрозия (сеть оврагов достигает 5—6 км длины на 1 км² площади). Эродированные поверхности занимают около 30% площади плато. Отмечены оползни, грязевые и наносоводные сели.

Высокая Азия

В пределах Тибета развитие селевых явлений преимущественно связано с окраинными горами. Из них наиболее активно селевые процессы протекают в восточной части нагорья, в так называемых Сычуаньских Альпах, примыкающих к Сино-Тибетским горам. Здесь значительная активность ледников и нивальных процессов связана со сравнительно низким положением снеговой границы, которая в среднем на 1000 м ниже, чем на аналогичных широтах в Гималаях. Такая особенность жизнедеятельности ледников, повышенное количество осадков ($H=100\text{мм}$), значительные превышения и большая крутизна склонов способствуют формированию крупных селей, преимущественно высокой плотности. Гляциальные грязекаменные потоки переносят огромное количество обломков горных пород (например, в 1953 г. был перенесен обломок скалы весом до 4 тыс. т). Максимальная скорость таких потоков достигала 30 м/с.

Селепроявления отмечаются на всем протяжении Гималаев, в которых в течение муссонного периода выпадает до 80% годового количества осадков, составляющих 3000—4500 мм и более ($H_{1\%} — 100\text{мм}$). Однако ступенчатое строение этой горной страны несколько

сдерживает формирование мощных грязекаменных потоков ливневого генезиса. На нижней ступени этой системы, Сиваликских горах, селевые процессы протекают достаточно активно и по масштабам селепроявлений соответствуют второй категории селеопасности.

В Западных Гималаях, в высокогорных частях штатов Уттар-Прадеш, Пенджаб и Кашмир, известны факты формирования мощных паводков. Их образование было вызвано прорывами озер, а также завалов русел рек, происходящих в результате обвалов или крупных оползней.

Огромные прорывные паводки отмечены и в крупном горном ледниковом районе — Каракоруме. За последние 150 лет здесь произошло не менее 50 прорывов ледниковых озер. Особенно крупные из них наблюдались в верховьях правого притока р. Инда — р. Шайок.

В Гималаях по мере возрастания количества осадков с запада на восток увеличивается вероятность формирования грязекаменных потоков с ливневым генезисом жидкой составляющей. В Восточных Гималаях помимо селевых явлений высокой плотности происходит образование различных оползней.

Восточная Азия

Характеризуемая территория располагается в пределах умеренных и субтропических широт, и находится под влиянием муссонной циркуляции. Последняя способствует резко выраженным различиям между влажным — теплым и сухим — холодным периодами.

Селевые явления развиты в Большом и Малом Хингане, в Манджуро-Корейских горах, а также в Циньлине и Наньлине. В первых из них широкое распространение имеют оползни и оплывины, возникающие в толщах лессовых отложений во время сейсмических подвижек.

Юго-Восточная Азия и Индостан

Эта часть Азии в селевом отношении изучена чрезвычайно слабо. Отдельные упоминания о селевых явлениях относятся к Западному побережью Индостана (Западные Гаты), а также к хребтам Великонда и Аракан (Бирма), ограниченным районам Таиланда и Вьетнама. Обычно в вышеперечисленных местностях преимущественно распространены сели низкой плотности ливневого генезиса, которые формируются во время прохождения циклонов.

Японские острова

Большая часть территории островов занята горами, которые испытывают сильное вулканическое и сейсмическое воздействия. Срединные цепи гор поднимаются до 3000 м над уровнем моря. В период с мая по октябрь на Японию обрушиваются несколько тайфунов, за время прохождения каждого из них выпадает огромное количество осадков.

Сочетание тектонических процессов и ливневых дождей приводит к интенсивному развитию селевых и оползневых процессов практически во всех районах страны. Селевые потоки обычно формируются при выпадении ливней, землетрясениях, извержениях вулканов, при прорывах завалов русел рек, образованных в результате движения оползней. Наиболее селеносным районом являются так называемые Японские Альпы, находящиеся на о. Хонсю.

В пределах этих Альп к самым активным можно отнести бассейны рек Джоганджи, Тенрю, Синано, Фудзи, Дзинцу, Куробе и Химэ.

Горные территории, находящиеся южнее и севернее охарактеризованной территории, отнесены ко второй категории селеопасности (в частности, это районы действующих вулканов Токати и Асаха, хр. Хидака, районы Тохоку, Кинки и п-ов Кии, горная часть о. Кюсю). Селевые явления преимущественно ливневого генезиса.

Известны случаи вулканогенных селей [7], образующихся при извержениях вулканов Бандай, Якедаке, Гассан, Токати.

Районы низкогорий островов Кюсю, Сикоку и южной части Хонсю по масштабам селепроявлений ливневого генезиса соответствуют третьей категории селеопасности.

Северная Америка

В Северной Америке районы распространения селевых и селеподобных явлений занимают около 30% общей территории материка. Развитие селевых явлений в основном связано с крупными горными образованиями — Кордильерами, Аппалачами и Порами Арктического Севера.

Кордильеры Аляски и северо-запада Канады

В этой части Кордильер с мощным оледенением гор Чугач, св. Ильи и хребтами Врангеля и Аляскинским связано крупнейшее в мире сосредоточение ледниково-подпрудных озер. Из 750 озер этого типа достаточно подробно описано только 53 объекта.

Обычно прорывы подпруженных ледниками озер происходят в конце теплого сезона года и вызывают сокрушительные паводки. Последние, захватывая моренный материал, чаще всего формируют сели низкой плотности. Более высокое обогащение твердым материалом не происходит вследствие широкого развития многолетней мерзлоты, сравнительно небольших уклонов и значительных объемов сбрасываемых из озер вод.

По масштабам селепроявлений такие потоки соответствуют первой и второй категориям селеопасности. К первой были отнесены районы озер Джордж, Тальсеква, Саммит и Флад. Оз. Джордж (горы Чугач) начиная с 1918 г. прорывается ежегодно в июле — августе.

Вулканогенные сели — лахары приурочены к действующим вулканам Тихоокеанской гряды. С вулканом Катмай связаны наиболее крупные селепроявления, соответствующие первой категории. На склонах других вулканов при их извержениях образуются лахары, количественные

характеристики которых обычно в пределах второй категории селеопасности.

В высокогорных районах гор Маккензи и хр. Брука формируются наносоводные сели, соответствующие по своим масштабам третьей категории. На остальной части описываемого региона чаще всего образуются небольшие селевые потоки низкой плотности. Их расходы и объемы не более четвертой категории селеопасности.

Кордильеры юго-запада Канады и северо-запада США

В пределах этой селеопасной территории наиболее крупные селепроявления отмечены в Каскадных горах. Последние представляют собой платообразные массивы и слабозрушенные стратовулканы. В этих горах распространены гляциальные и вулканогенные сели.

Наиболее крупные селепроявления (высшей категории) отмечены на склонах вулкана Рейнир. В XX в. на склонах Рейнира селевые явления высокой плотности были связаны с выбросами внутриледниковых вод и выпадением жидких осадков. Обычно первые из них преобладали. Масштабы селепроявлений были в пределах первой категории селеопасности.

Хребты Абсарока и Уинд-Ривер в Скалистых горах по масштабам селепроявлений дождевого генезиса соответствуют второй категории селеопасности. Другие районы распространения дождевых селей по масштабам явлений соответствуют третьей и четвертой категориям селеопасности. Всего было отмечено около 100 селепроявлений. Объем каждого из них не более 100—150 тыс. м³.

Кордильеры юго-запада США

Эта территория включает в себя часть Кордильер от северной окраины Большого Бассейна до Калифорнийского залива и Мексиканского плоскогорья. Селевые явления преимущественно дождевого

происхождения и приурочены к зонам выпадения максимального количества осадков (т. е. к западным склонам Берегового хребта и Сьерра-Невады, а также восточным склонам Скалистых гор). Осадки здесь выпадают в основном в жидком виде, часто характеризуются значительной интенсивностью. Максимум осадков наблюдается зимой. В это же время образуются и селевые потоки.

Наиболее селеактивны горы Сан-Габриэль. В этом районе селевые явления наблюдаются один раз через каждые 4—5 лет.

Ко второй категории селеопасности отнесены западные склоны Сьерра-Невады, хр. Уосатч, горы Уинта, Сангре-де-Кристо и СанХуан, Передовой хребет и часть гор Сан-Габриэль.

Восточный склон Сьерра-Невады, часть бассейна Колорадо, отдельные участки Береговых хребтов по масштабам селепроявлений соответствуют третьей категории. Другие горные районы отнесены к четвертой категории селеопасности.

На характеризуемой территории, за исключением гор Сан-Габриэль, где преобладают наносоводные сели, преимущественное распространение имеют грязекаменные потоки.

Северная Мексика и Центральная Америка

Наиболее крупные селевые явления данной территории связаны с извержениями вулканов. Образующиеся при этом грязекаменные потоки могут преодолевать до 16—20 км, по масштабам селепроявлений они обычно не превышают второй категории селеопасности. Близкие к ним по масштабам явлений могут быть гляциальные сели наиболее высокой части Поперечной Сьерры.

Селевые потоки дождевого генезиса приурочены к горным районам со значительными высотами, расчлененностью и большим количеством осадков. Так, ко второй категории селеопасности отнесен район Поперечной Вулканической Сьерры и наиболее высокие участки

Восточной Сьерра-Мадре. На южных склонах последней преобладают наносоводные потоки, а на северных склонах — грязекаменные. Наветренные склоны Западной и Восточной Сьерры по масштабам селевых явлений высокой плотности соответствуют третьей категории селеопасности.

В Центральной Америке наиболее крупные селевые потоки формируются при извержениях вулканов. К третьей категории отнесены вулканогенные сели района сравнительно невысоких вулканов в Никарагуа и Коста-Рики и дождевые сели как высокой, так и низкой плотностей.

Аппалачи

Горная система Аппалачей характеризуется средневысотным рельефом с ярко выраженным эрозионным расчленением, значительным выпадением осадков и развитым растительным покровом. Селевые явления преимущественно распространены в Южных Аппалачах, в которых годовое количество осадков вдвое больше по сравнению с Северными.

Наиболее селеактивным является Голубой хребет (Южные Аппалачи). По масштабам селепроявлений Голубой хребет отнесен ко второй категории селеопасности, а остальная часть Южных Аппалачей — к третьей.

В Северных Аппалачах обычно формируются наносоводные потоки и овражные выносы. Грязекаменные потоки крайне редки и незначительны. Селепроявления в этом районе не превышают масштабов четвертой категории селеопасности.

Однако вследствие значительной плотности населения этого региона даже сравнительно небольшие селевые потоки приводят к разрушениям. Последнее относится как к Южным, так и к Северным Аппалачам.

Арктический Север

Селепроявления на данной территории преимущественно приурочены к нивальной зоне, в частности к краевым участкам ледников. Здесь в результате прорыва ледниково-подпрудных озер формируются значительные ледниковые паводки. Большая часть таких озер сосредоточена в восточной, западной и южной прибрежной части о. Гренландия. Значительное количество аналогичных озер имеется на островах Аксель-Хейберг и Элсмira, находящихся в районе Танкуэри-Фиорда. На первом из них изучено 125 ледниково-подпрудных озер, прорывающихся достаточно часто [8]. На одном из них — оз. Битвин, объем которого около 7,5 млн. м³, почти ежегодно начиная с 1959 г. наблюдаются катастрофические сбросы воды. По масштабам селепроявлений горные приледниковые районы этих островов, кроме южного побережья Элсмira, отнесены к первой категории.

Ко второй категории селеопасности отнесены западные и южные районы Гренландии, в которых объемы прорывных паводков достигают 400—450 тыс. м³, а также подножие г. Петерман в районе ледн. Жетте, прибрежные районы островов Девон и Баффинова Земля и южная часть о. Элсмир.

Кроме вышеописанных озер на территории Арктического Севера описаны случаи выбросов воды из внутриледниковых емкостей. Прорывы емкостей часто приводят к образованию достаточно крупных ледниковых паводков и наносоводных потоков.

Изучение распространения и особенностей селепроявлений на территории северного полушария подтвердило высказанные ранее Ю. Б. Виноградовым предположения об общности механизмов формирования селевых потоков в различных регионах, а также о зарождении грязекаменных потоков в определенных формах рельефа, названных в [9] селевыми очагами. Изучение особенностей строения и расположения последних позволяет с достаточно высокой достоверностью определить вероятные участки зарождения селевых потоков высокой плотности и

производить вероятностный расчет масштабов селепроявлений для критических значений обводнения потенциальных селевых массивов очагов.

3 Физико-географические условия территории Республики Таджикистан

Республика Таджикистан располагается в Центральной Азии Между $36^{\circ}40'$ и $41^{\circ}05'$ северной широты и $67^{\circ}31'$ и $75^{\circ}15'$ восточной долготы.

Граничит с Китаем – на Востоке, с Афганистаном – на юге, на севере граничит с Кыргызстаном, а на западе и северо-западе с Республикой Узбекистан. Максимальная протяженность Таджикистана с севера на юг составляет 350 км, с северо-запада на юго-восток – 700 км.

3.1 Климат территории Республики Таджикистан

Климат Таджикистана резко континентальный, отличающийся сухостью воздуха, малой облачностью, значительными суточными, а также сезонными колебаниями количества осадков и температуры воздуха в зависимости от абсолютной высоты местности. В юго-западной части Таджикистана преобладают низкогорья, где средняя температура января около плюс 2°C , а июля около 30°C . На севере страны преобладают долины, где температура воздуха ниже. В горных районах и зима и лето холоднее; в высокогорьях средняя температура января от -26°C до -14°C , средние июльские - от $+4^{\circ}\text{C}$ до $+15^{\circ}\text{C}$.

Значительная часть страны находится в аридных и семиаридных зонах. Средняя годовая сумма осадков варьирует от 70 мм на Восточном Памире до 1600 на Южных склонах Гиссарского хребта. Осадки преимущественно выпадают зимой и весной, минимум осадков наблюдаются летом и осенью.

Более 93% территории республики Таджикистан занимают горы, это более 130 тысяч квадратных километров из 141,1тысяч квадратных километров территории всей республики. Горы Таджикистана относятся к

горным системам Средней Азии - Тянь-Шаньской, Гиссаро-Алайской и Памирской. Горные хребты Туркестанский, Гиссарский, Зеравшанский, а также западная часть Алайского хребта в Центральном Таджикистане имеют широтное простирание и высоты 4000-5000 м. Высокогорная система Памира занимает Восточную часть Таджикистана. Высочайшие пики Памира – пик Исмаила Сомони (быв. пик Коммунизма) высотой 7495 м и пик Ленина высотой 7134 м. В Таджикистане около тысячи ледников. Известнейший из ледников – ледник Федченко горно-долинного типа длиной более 70 км.

Горы разделены котловинами и долинами, в которых сконцентрирована основная хозяйственная деятельность страны и проживает основная часть населения Таджикистана. Самые густонаселенные районы - долина Сырдарьи, находящаяся в западной части Ферганской впадины на севере республики, долина Зеравшана в центре страны, а также долины и низкогорья на юго-западе.

3.2 Гидрологическая изученность

Гидрологическая сеть Таджикистана насчитывает более 950 рек, истоки которых находятся в основном в горах Гиссаро-Алая или Памира и принадлежат большей частью бассейну Амударьи. Некоторые из рек имеют сток в Сырдарью и Зеравшан. По причине больших уклонов на многих реках страны, особенно на Вахше и Пяндже, Республика Таджикистан занимает второе после Российской Федерации место в СНГ по запасам гидроэнергоресурсов.

Большая часть озер расположена на Памире и в Гиссаро-Алае. Каракуль – крупнейшее из озер находится на высоте около 4000 метров, также крупными являются Сарезское озеро, Искандеркуль и Яшилькуль.

4 История исследования селевых потоков Таджикистана

В Советском Союзе изучение селей проводилось Казахским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом. В начале 70-х годов на трассе Чемолган вблизи Алма-Аты на высоте 2500-3000 метров над уровнем моря был организован селевой полигон, в котором искусственные селевые потоки были созданы и исследованы путем накопления воды в искусственном водоеме объемом 40 тысяч кубометров и последующего резкого сброса в крутое и глубокое ущелье. В то же время максимальный расход селевых потоков превысил четыреста кубометров в секунду при плотности более двух тонн/кубический метр. В результате многолетних наблюдений казахским ученым-селевикам удалось получить интересные и ценные с научной точки зрения материалы.

К сожалению, пока еще не создана единая общепринятая международная классификация селевых бассейнов. Кроме того, изучение селей затруднено некоторой разобщенностью специалистов: прогнозы погоды предоставляются синоптиками, снежным покровом в горах, стоком горных рек и самими селями гидрологами. В то же время геологи изучают твердую часть селей, селевой рельеф - геоморфологи, а инженеры-конструкторы создают противоселевые сооружения. Однако, несмотря на все эти трудности, изучение селей в СНГ продолжается.

В шестидесятые-семидесятые годы прошлого века в горах Заилийского Алатау (Казахстан) детальная сейсморазведка, электроразведка, гравитационная разведка и магниторазведка использовались для изучения опасности селей в ледниках Абая, Советов и Туюксу. Гравитационной разведкой и электроразведкой успешно определялись участки погребенных льдов, мерзлых пород, рыхлых морен, зоны фильтрации талых вод, подземных и подледных пустот и туннелей.

В Таджикистане аналогичная работа выполнялась сотрудниками Гидрометеорологической службы совместно с сотрудниками МЧС России

по определению прорывоопасных высокогорных озер еще впереди: пока нет средств, необходимого оборудования и опытных специалистов.

Среднеазиатские организации Гидрометеорологической службы начали собирать информацию о селях с конца тридцатых годов. В Таджикистане первое исследование селевых бассейнов было проведено Институтом почвоведения в пятидесятые годы.

В 1945 году в средней части Варзобского ущелья на южном склоне Гиссарского хребта была открыта гидрометеорологическая станция. Она находится в большом поселке Гушары на высоте 1300 м над уровнем моря. Однако вскоре стало ясно, что станция расположена в одном из самых селеопасных районов республики, поэтому в 1964 году она была реорганизована в селестоковую. Основной задачей станции было изучение причин возникновения разрушительных селевых потоков - селей и методов борьбы с ними. В советское время штат станции составлял 13 человек. Наблюдения проводились на метеорологической площадке, на четырех водоизмерительных постах и сорока установленных в различных местах бассейна реки Варзоб плювиографам - специальным приборам, которые фиксируют не только количество, но и интенсивность осадков. Некоторые из плювиографов регистрировали осадки в сутки, другие - в неделю. Плювиографы были установлены в бассейнах рек-притоков Варзоба: Харангон, Курортная, Такоб, Кандара, Обичагон, Ходжаобигарм. Кроме того, на склонах всей Варзобской котловины были установлены общие счетчики осадков, сохранявшие в себе осадки за продолжительный период времени.

В водно-балансовом логу «Южный» велись наблюдения за процессом возникновения селя: измерялся расход воды, стекавшей по склонам и по дну лога, ее объем, количество взвешенных и влекомых наносов за каждый отдельный дождь. Измерение стока со всей площади лога, которая составляла 0.126 км^2 , проводилось с использованием лотка, оборудованного тонкостенным водосливом прямоугольной формы.

Поддон был бетонным ящиком длиной более 10 метров, ширина в нижней части водосброса составляла 2,8 метра, а в верхней части 5,2 метра. На расстоянии 4,65 м от водослива была открыта правая стенка лотка, чтобы погасить скорость потока и способствовать оседанию влекомых наносов. Высота бетонных стен лотка составляла 1 метр, толщина - 0,25 метра. В верхней части поддона была установлена бетонная стенка длиной 2,4 метра, а оставшаяся часть (2,8 метра) занимала отверстие для поступления воды и влекомых наносов. В лотке был установлен самописец «Валдай» для регистрации колебания уровня воды с ежедневной записью.

Также велись наблюдения в трех контрольных селевых логах - Мушкалот, Гусхарв и Фанфарок.

При обработке материалов внимание было в первую очередь сосредоточено на причинах селеобразования. Начальниками селевой станции, селевой партией и экспедиционными отрядами для изучения селей были самые опытные и компетентные специалисты Гидрометеорологической службы, хорошо знакомые с этим грозным и опасным стихийным явлением.

А в Варзобском ущелье есть все, что необходимо для образования селей: большое количество осадков, включая ливневую воду, крутые безлесные склоны, а также гравий и глина на склонах и дне ущелий. К сожалению, толстые арчевые леса в верховьях р. Варзоб, которые были лучшей естественной защитой от селей, были полностью вырублены местным населением на топливо в течение последних двух столетий. Поэтому каждый год, особенно в апреле и мае, когда проходят весенние дожди, здесь появляются сели, размывающие дороги, разрушающие жилые и хозяйственные здания. В Варзобском ущелье расположено около двадцати крупных селевых очагов - ущелий, долин - и несколько десятков мелких. Кроме того, нередко по Варзобу и его притокам прокатываются селевые паводки, разрушают мосты и размывают берега. Как показали многолетние наблюдения, в Варзобе наиболее опасная селевая зона

находится на высоте от 1000 до 2000 метров над уровнем моря. Селестоковая станция Гушары находилась на «передовой», где чаще всего образовывались селевые потоки, нанося значительный урон расположенному здесь крупному населенному пункту Гушары[10].

За почти сорокалетний период наблюдения селевиками Гидрометеорологической службы Таджикистана был собран большой материал. Под руководством инженера-гидролога П. Смотров в 1965 году был создан «Каталог селеопасных рек на территории Таджикской ССР», в котором указывались не только морфометрические и гидрографические характеристики рек, селевых потоков, но и сели, которые прошли по ним, причины возникновения этих селей, их размеры и ущерб, нанесенный народному хозяйству республики.

В 1967 году был издан «Каталог селеопасных рек СССР», в который вошли также реки Таджикистана, в том числе Варзоб. Позже была составлена карта селеопасных районов Таджикистана.

В 1977 г. был составлен первый «Отчет о результатах аэровизуальных съемок очагов возможного зарождения ледниковых селей в бассейнах основных рек Таджикистана». Вместе с представителями Минводхоза, наиболее опытные специалисты Гидрометеослужбы обследовали девять речных бассейнов в течение недели, от южного склона Гиссарского хребта до Западного Памира. В то же время в Варзобском бассейне было обнаружено пять высотных очагов возможного селевого потока, четыре в бассейне р. Сурхоб, семь в бассейне р. Ванча, один в бассейне р. Язгулема, один в бассейне р. Бартанг и пять в бассейне реки Гунт.

В 1989 году по поручению Государственного комитета по гидрометеорологии был создан каталог обследованных озер Казахстана и Центральной Азии с оценкой их селевой опасности. Он включал 66 озер, характеристики которых, за исключением двух, были получены во время экспедиционного обследования путем прямых измерений и

тахеометрических съемок. В то же время, согласно ландшафтному признаку, озера были разделены на ледниковые, моренные и горные долины. Если озеро образовалось по нескольким причинам, то использовалось комбинированное название, например, завально-тектоническое.

В конце 80-х годов, после создания Каталогов ледников СССР и кадастра лавин СССР, начал создаваться Каталог селей СССР, в том числе Каталог селевых потоков в Таджикистане. Это была очень большая работа, рассчитанная на несколько лет, в которой помимо селевиков должны были участвовать синоптики, метеорологи, гидрологи и геологи. В нем должны быть указаны основные характеристики селевых бассейнов, разрезов, колеи, контрольных линий, прорывных озер.

Информация о прошлых селях, их гранулометрическом составе и различной дополнительной информации. К сожалению, в связи с распадом СССР, только одна часть была составлена - по бассейну Кафирнигана.

Кроме того, в соответствии с запросами заинтересованных организаций, сотрудники гидрометеорологической службы провели проверки отдельных объектов на предмет опасности селей с выдачей соответствующих рекомендаций, как избежать ущерба от этих природных явлений.

После катастрофы в деревне Дашт в 2002-2003 годах Швейцарское управление по развитию и сотрудничеству (SDC) совместно с организацией FOCUS-Humanitarian Aid начали оценивать возможность такой опасности в других районах Горно Бадахшанской Автономной Области (ГБАО). С этой целью группа специалистов под руководством профессора Шнейдера совершила облет на вертолетах Ми-8 в долинах рек Ванча, Гунта и Шахдара (особенно в так называемом «Плато озера» в его верховьях), опрос местных жителей, сбор метеорологических и гидрологических материалов. Зарегистрировано в общей сложности 276 высокогорных озер, которые подразделяются на пять категорий:

1. 100 озер с гляциальными плотинами представляют собой большие объемы воды, скапливающиеся за гляциальными плотинами или в ущельях, перекрытых ледниками.

2. К 97 моренным озерам относятся водоемы, образованные во впадинах рельефа в зоне скопления моренного материала. Такие впадины могут образовываться в результате отступления ледников или неравномерного таяния погребенного мертвого льда. Они изолированы хребтами и буграми моренного материала.

3. Плотина одного из озер образована движением масс горных пород (обвалов и оползней). Такие естественные укрепления, состоящие из глины, песка и каменных обломков различных размеров, часто недолговечны. Однако, если они не рухнут под влиянием эрозии в первые годы их существования, они могут просуществовать в течение многих лет.

4. Четыре озера имеют плотины сложного строения, образованные в результате древнего перекрытия долины и в сочетании с перекрывающимися или промежуточными следами оползней или селей. Вода может протекать либо через проницаемые участки моренной плотины, либо через обломочный материал, образовавшийся в результате обрушения, вызывая внутреннюю эрозию.

5. 74 озера расположены на скалах и имеют устойчивые перекрытия. Большинство этих озер расположено в центральных частях старых ледниковых долин. Они образовались в результате отступления ледников при заполнении впадин, образованных ледниковой эрозией с талой водой[11].

В ходе исследования было также конкретно установлено, какая опасность угрожает расположенным в долине Гунта кишлакам Мун, Турбат, Ривак, Сидж, Танг и Колхозобод в случае прорыва гляциального озера Ривак-куль. В соответствии с типом и размером ледникового гляциального прорывоопасного озера, максимальным расходом воды и возможным воздействием на расположенные ниже по течению районы,

были определены районами с высокой вероятностью прорыва ледниковых озер: в бассейне Гунта - в верховьях рек Ривакдара, Варшездара, Аксай, Упалысай, Токузбулак; в бассейне Шахдары, в верховьях рек Сеждара (Зардев) и Дурумдара в средней части бассейна и в верховьях рек Хидорджевдара, Шарфдара и Даштдара в нижней части бассейна Шахдары.

Опытным путем установлено, что лучше всего исследовать озера визуально, с берега или с лодки, что позволяет получить максимум полезной информации. В то же время, если есть соответствующее оборудование и инструменты, можно проводить сейсмические, электрические, гравитационные и магнитные разведки плотин. Однако, как указано выше, к большому сожалению, до многих прорывных ледниковых озер можно добраться только на вертолете, причем, посадка не гарантирована. Кроме того, визуальный способ исследования озер очень трудоемкий, требует большого количества исполнителей и значительного времени. Поэтому необходимо внедрять другие современные типы изучения таких озер, в первую очередь – по снимкам с искусственных спутников Земли. Такая работа ведется в Ташкенте и Москве, поскольку в Государственном гидрометеорологическом институте (так называется в настоящее время Служба погоды Таджикистана) нет соответствующего оборудования и опытных специалистов. Это также требует средств на дополнительные часы полета на вертолете, чтобы осмотреть озеро и принять все необходимые меры, чтобы избежать жертв и большого материального ущерба, если есть угроза его прорыва.

В настоящее время нет подробного списка прорывоопасных озер для Таджикистана, хотя работа в этом направлении велась в течение многих лет в прошлом веке. Как показала практика, этого и не может быть, поскольку процесс образования и исчезновения таких озер происходит непрерывно, особенно в период глобального потепления. Поэтому необходим постоянный мониторинг высокогорных озер республики.

После распада Советского Союза большинство специалистов по селям покинули Таджикистан и финансирование Гидрометеорологической службы резко сократилось. Поэтому в настоящее время станция Гушары с небольшим штатом проводит только метеорологические, гидрологические и снегомерные работы. Однако, при первой же возможности необходимо восстановить ее как селестоковую, предоставив самое современное оборудование.

5 Определение показателей селеопасности территории

5.1 Показатели селеопасности территории

Территория считается селеопасной, если она представлена одним или несколькими селевыми бассейнами. В настоящее время отсутствует общепринятая методика районирования территории по степени селеопасности. Оценивать степень селеопасности территории только по следам селепроявлений часто оказывается не только дорогостоящим, но и явно недостаточным мероприятием. Для решения этой задачи необходимо совмещать использование методов полевых обследований с анализом картографических, метеорологических, геологических и других данных, позволяющих комплексно оценивать степень селеопасности территории. Ниже перечислены основные параметры и характеристики селевых бассейнов и условий селеформирования, позволяющие произвести объективную оценку селеопасности территории, а также приведены некоторые способы оценки показателей селеопасности.

Наборы параметров и характеристик, необходимых для проведения оценки селеопасности в различных горных районах и, более того, даже в одном горном районе, но для различных типов селеформирования, могут существенно отличаться.

Параметры и характеристики оценки селеопасности условно можно разделить на следующие группы:

I. Морфометрические характеристики селевых бассейнов:

- площадь селевого бассейна до замыкающего створа;
- длина основной водораздельной линии бассейна;
- суммарная длина тальвегов (русел) бассейнов 1-го, 2-го и т.д. порядков;
- средний уклон тальвегов (русел) бассейнов 1-го, 2-го и т.д.

порядков;

- количество русел бассейнов 1-го, 2-го и т.д. порядков;
- средняя площадь бассейнов 1-го, 2-го и т.д. порядков;
- суммарная длина тальвегов (русел);
- коэффициент густоты селевой сети;
- средний уклон бассейна;
- наивысшая абсолютная высота в бассейне;
- абсолютная высота замыкающего створа.

II. Площади стокообразующих поверхностей, представленных:

- ледниками;
- скалами;
- незадернованными продуктами выветривания;
- современными моренными отложениями;
- древними моренными отложениями;
- озерами;
- селевыми очагами и руслами;
- альпийскими и субальпийскими лугами;
- хвойными лесами;
- лиственными лесами;
- смешанными лесами;
- степями;
- эродированными, лишенными покрова поверхностями;
- полупустынями;
- пустынями.

III. Геологические и гляциологические характеристики бассейнов:

- значения скоростей выветривания основных типов горных пород, представляющих скальные поверхности;

- интенсивность денудации поверхности водосбора и его частей;
- диапазон абсолютных высот распространения древнеморенных отложений;
- диапазон абсолютных высот распространения ледников;
- высота снеговой линии;
- среднее количество мелкозема в селеформирующих грунтах;
- диаметры частиц 25, 50, 80 и 90%-ной обеспеченности по полной кривой гранулометрического состава селеформирующих грунтов;
- скорость неотектонических поднятий;
- магнитуа и повторяемость землетрясений.

IV. Характеристики селепроявлений:

- средние значения максимальных расходов селей для замыкающих створов бассейнов 1-го, 2-го и т.д. порядков;
- средние значения объемов выноса селевой смеси из бассейнов I-го, 2-го и т.д. порядков;
- повторяемость селей различного генетического типа;
- размеры селеопасных озер;
- параметры перемычек селеопасных озер;
- поля выноса: количество, длина, ширина, уклон и показатели грансостава;
- селевые валы: длина, ширина, грансостав слагающих их грунтов;
- поперечные профили на неразмываемых участках селевых русел с указанием отметок высоких уровней на обоих берегах;
- критический уклон русла.

V. Характеристики конусов выноса:

- длина;

- наибольшая ширина;
- площадь;
- абсолютная высота нижней границы конуса выноса;
- абсолютная высота вершины конуса;
- грансостав отложений.

VI. Антропогенные характеристики. Наличие на селеопасной территории:

- селезаградительных сооружений (тип конструкции, объем верхнего бьефа и т.д.);
- водозаборов;
- водохранилищ (местоположение, объем верхнего бьефа);
- выемок, котловин (местоположение, объем);
- хвостохранилищ (местоположение, объем, площадь, уклон поверхности, характеристики грансостава);
- площадей, занятых под сельхозугодья;
- площадей, занятых под выпас скота.
-

VII. Метеорологические параметры и характеристики:

- слой жидких осадков 1%-ной обеспеченности;
- температура воздуха (сумма положительных среднесуточных температур, средняя годовая температура, средняя температура за селеопасный период и т.д.);
- коэффициент сухости;
- коэффициент континентальности;
- коэффициент сезонности;
- слой осадков за селеопасный период, за год;
- баланс увлажнения за селеопасный период.

VIII. Гидрологические параметры и характеристики:

- средний годовой сток воды в замыкающем створе селевого бассейна;
- средний сток воды за селеопасный период;
- максимальный расход водных паводков 1% -ной обеспеченности в замыкающих створах бассейнов 1-го, 2-го и т.д. порядков;
- сток взвешенных наносов (за год, селеопасный период, максимальный суточный);
- динамические запасы влаги в бассейнах 1-го, 2-го и т.д. порядков;
- коэффициент фильтрации для бассейнов поверхностного стокообразования;
- начальные потери дождевого стока;
- критические расходы для замыкающих створов бассейнов 1-го, 2-го и т.д. порядков.

Оценка продолжительности селеопасного периода

Под селеопасным понимают период года, когда существуют потенциальные условия для селеобразования. Естественно, что для схода селей необходим дополнительный импульс, например, выпадение дождя (соотношение слоя и продолжительности которого превышает критические значения) или прорывной паводок (расходы которого больше критических значений). Момент непосредственной угрозы формирования селей называется селеопасной ситуацией. Детальная оценка селеопасного периода осуществляется на основе анализа формирования селей.

За начало и окончание селеопасного периода принимают даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения весной и в сторону понижения осенью. При этом

следует учитывать внутригодовое распределение селеформирующих осадков. Ряд исследователей утверждают, что при среднесуточной температуре воздуха, равной или больше 2°C, осадки выпадают в жидком виде.

Следует подчеркнуть, что значения коэффициентов корреляции температуры воздуха с высотой местности приблизительно равны 0,90-0,95, а значения коэффициентов вариации средней летней температуры с высотой местности меняются незначительно и обычно не превышают 0,10. Точность расчета вертикальных градиентов температуры воздуха обычно не превышает 0,015°C/100 м при доверительной вероятности 95%. При изучении сезонного промерзания селеформирующих грунтов представляет интерес высотное положение перехода среднегодовой температуры воздуха через 0°C (в Джунгарском Алатау - 2100, на Тянь-Шане - 2500, на Памире - 3000 м).

Продолжительность селеопасного периода сокращается на 5-6 дней на каждые 100 м поднятия, а на высоте снеговой линии равна нулю.

Существует ряд эмпирических формул для определения высоты снеговой линии. Н.Н.Пальговым[22] для центральной части хребта Заилийского Алатау предложена зависимость:

$$H = 3722 + \frac{0.42(849 - x) + 133(t - 6.4)}{2}$$

где x - сумма осадков за предшествующий гидрологический год; t - средняя летняя температура воздуха текущего года.

Таким образом, определить продолжительность селеопасного периода душ горных районов не представляет каких-либо сложностей. Вместе с тем продолжительность селеопасной ситуации составляет обычно доли процента от продолжительности селеопасного периода. Очевидно, формула Пальгомова может быть использовано в качестве показателя

селеопасности территории.

Оценка степени эрозионного расчленения селевых бассейнов

Топографические карты позволяют определить многие характеристики рельефа: площади бассейнов различных порядков, уклоны (бассейна, русла, склонов, контуров и т.д.), относительные и абсолютные высоты, формы продольных профилей. Объединение этих характеристик по степени подобия позволяет выделить определенные типы селевых бассейнов, площади которых поддаются картографированию.

Сеть селевых русел, в равной степени как и гидрографическая сеть, отражает специфические черты баланса твердого материала и водного баланса, а также тектоники территории. В системе селевых водотоков закодирована определенная информация о разнообразных путях происхождения и закономерностях строения селевых бассейнов.

В последние годы получили развитие вопросы, связанные с расчетом параметров стока на основе гидроморфологических характеристик. Напомним, что начало формализованному анализу закономерностей строения речных сетей было положено Р.Хортоном, который предложил деление сети на множество рек по принципу порядковости. Неразветвленным потокам Р.Хортон присвоил 1-й порядок, при слиянии однопорядковых потоков порядок очередного водотока соответственно увеличивался на единицу. На основе данной системы речной сети Р.Хортон и его последователи обнаружили так называемые законы чисел притоков, длин притоков, речных уклонов и т.д.

В системе Р.Хортона реки наивысших порядков сохранили свой порядок от истока к устью, в то время как любая достаточно крупная река изменяет (под влиянием боковой приточности) свои характеристики по длине от истока к устью.

Дальнейшее развитие системного подхода к строению речных сетей

принадлежит советским исследователям И.Н.Гарцману, Н.А.Ржаницину, Л.М.Корытному и зарубежным ученым А.Шайдеггеру, Дж.Муну и др. В настоящее время установлено, что "законы Хортона", представляющие собой статистические закономерности, проявляются в разнообразных физико-географических условиях. Использование закономерностей строения речной сети позволило решить ряд задач, связанных с классификацией морфометрических характеристик русел. В основу исследования речных сетей положены разделы неметрической топологии теории множеств, теории графов.

Созданные в 70-е годы модели составов и структуры речных сетей дают возможность представить речные сети в виде графа-дерева, вершины которого соответствуют истокам и точкам слияния водотоков, а ребра - линейным элементам сети [12]. При этом подтвердилась тенденция исчезновения малых рек и возрастания их длин с увеличением порядка по закону геометрической прогрессии, а длина русловой сети в речном бассейне пропорциональна площади бассейна в степени, равной 0,6 для мелких бассейнов. Например, для центральной части северного склона Заилийского Алатау длина селевых русел (в том числе и временных) пропорциональна площади селевого бассейна в степени 0,76. Для западной и восточной оконечности этого хребта названный показатель степени заметно ниже.

Если же рассматривать склоновую микрогидрографическую сеть бассейнов поверхностного стокообразования, то показатель степени будет заведомо больше единицы. При картографировании селевых явлений можно использовать и такой показатель гидрографической сети, как коэффициент бифуркации между речными системами определенных порядков. Если для речных систем этот коэффициент составляет 4,0-5,5, то для селевых бассейнов при переходе от селевых русел бассейнов 1-го порядка к селевым руслам бассейнов 2-го порядка он достигает 7, а для эродированных бассейнов - более 7.

Оценка величины денудации поверхности селевых бассейнов

Ежегодно речным стоком с материков смывается и уносится в океан 12 км^3 , или 25-30 млрд.т твердой взвеси. Естественно, что интенсивность смыва с поверхности различных бассейнов далеко не одинакова. Условно выделяют два класса рельефа: нормальный и крутосклонный. Средняя скорость денудации для районов с нормальным рельефом равна 0,046 мм/год, а для районов с крутосклонным рельефом - 0,5 мм/ год.

Основываясь на данных о твердом стоке рек США, геоморфолог Шумм считает определяющими факторами стока наносов рельеф и поверхностный сток. При этом он полагает, что сток наносов является экспоненциальной функцией рельефа, если последний определять как разность высот в пределах бассейна, деленную на его длину. Шумм полагает, что максимально возможная скорость денудации приближается к 1,0 мм/год и что величина средней скорости, вероятно, находится между 0,03 и 0,09 мм/год. Обе цифры определяются суммированием взвешенного и растворенного стока.

Дж.Корбель считает, что процесс денудации определяют среднегодовые значения температуры и осадков, а также амплитуда расчленения рельефа. Предполагается, что в каждом классе осадков скорость денудации изменяется обратно пропорционально температуре, в то же время в каждом классе температуры последняя изменяется прямо пропорционально количеству осадков. Из названных условий вытекает, что при одинаковом рельефе наивысшие скорости денудации должны наблюдаться в холодных увлажненных районах, наименьшие - в жарких аридных районах, причем амплитуда скоростей денудации для различных климатических условий (при одном и том же расчленении рельефа) может достигать 100%.

Исследователи, анализируя данные по крупным речным системам,

обычно относят твердый сток, выносимый рекой за пределы бассейна, ко всей площади бассейна. На самом же деле вынос грунта происходит из локальных участков бассейна. Следует иметь в виду, что только для очагов рассредоточенного селеобразования площадь очагов совпадает с площадью бассейна. Во всех других случаях формирование грязекаменных селей происходит в локальных очагах.

Часть селевых бассейнов заканчивается конусами выносов, обычно легко опознаваемых на местности. Селевые конусы представляют собой разновозрастные отложения различного генезиса:

- эрратические грунты, обремененные своим появлением селям большой плотности;
- крупные аллювиальные грунты, перемытые в пределах конуса или принесенные из вышерасположенных русел наносоводными потоками;
- мелкие, аллювиальные отложения, покрывающие часть конуса выноса в межселевые периоды;
- суглинистые или лессовые отложения.

Оценка величины денудации для горных территорий должна выполняться с учетом скоростей неотектонических поднятий, которые по абсолютной величине могут быть больше, меньше или равны скоростям денудации. Характеристики денудации можно привлечь к контролю и проверке других характеристик эрозии, полученных независимыми способами.

О характеристиках жидких осадков.

На картах селевых бассейнов и очагов (или картах селеопасности) целесообразно показывать в виде изолиний характеристики жидких осадков. Например, на картах селеопасных районов [13] изображены суточные суммы жидких осадков 1%-ной обеспеченности. Однако более

информативными являются значения слоя или интенсивности стокообразующих дождей за отрезки времени, численно равные времени добегания стока для селевых бассейнов.

Также к числу статистических характеристик жидких осадков, отражающих степень селеопасности территории, относятся параметры кривых обеспеченности слоя или интенсивности селеформирующих дождей. Однако осуществить сколько-нибудь полное обобщение названных параметров в настоящее время не представляется возможным ввиду слабого развития стационарной сети наблюдений за условиями селеформирования.

Оценка гляциальной селеопасности.

В селевых бассейнах районов современного горного оледенения наряду с селями дождевого возможно формирование селей и гляциального генезиса. Возникновение последних обусловлено взаимодействием водных масс прорывных паводков с селеформирующими грунтами очагов, расположенных на моренных отложениях. Эти паводки образуются в результате катастрофических прорывов озер или подземных водоемов моренно-ледниковых комплексов. Для оценки гляциальной селеопасности могут быть использованы эмпирические связи между максимальными расходами и объемами прорывных паводков, с одной стороны, и характеристиками горного оледенения, с другой[14].

В тех случаях, когда известны батиметрические характеристики озер, состав и состояние озерной перемычки, а также температура воды в озере, характеристики прорывных паводков могут быть рассчитаны, согласно существующим рекомендациям.

Расчеты показывают, что только небольшая доля (15-20%) общего числа озер моренно-ледникового комплекса относится к числу селеопасных, катастрофический прорыв которых может привести к

формированию селей.

Статистические методы оценки селеопасности

Применение статистических методов в исследованиях селевых явлений не получило должного развития из-за отсутствия достаточно длинных рядов наблюдений за ними. Вместе с тем во многих случаях в селевых бассейнах могут быть получены сведения, позволяющие определить частоту селепроявлений с помощью дендрохронологических и лихенометрических методов.

Следует иметь в виду, что в одних и тех же селевых бассейнах формируются не только грязекаменные, но нередко и наносоводные сели. При этом могут формироваться сели различных генетических типов, характеристики которых редко отличаются друг от друга.

Применение статистических методов в селеведении ограничивается наличием внутрирядной связности, которая нарушает принцип случайной выборки. Известно, что после прохождения крупных селей в течение длительного времени имеются условия для постселевых явлений. Например, в бассейне р.Саркавд (Джунгарский Алатау) сель 1982 г. явился причиной целого ряда селевых выбросов в 1983 г., следовательно, сели 1983 г. не должны включаться в генетически однородный ряд гляциальных селей данного селевого бассейна. Таким образом, прежде чем приступить к статистическим расчетам, необходимо отобрать информацию, физически и статистически однородную.

Матричный ход оценки возможности возникновения селей

В 1980 г. Дж.В. де Графф и Ромесбург предложили матричный метод оценки возможности возникновения обвалов и оползней, который в последующем был применен М.Кадзунари при оценке риска возникнове-

ния грязекаменных потоков в окрестностях города Курэ (Япония). Обычно для оценки степени риска возникновения грязекаменных селей из многочисленных параметров и характеристик селеопасности выбираются лишь основные: значения уклонов склонов, поперечные и продольные профили, площадь и форма бассейнов, густота селевой сети и диапазон высотных отметок рельефа, геологические факторы: литология и степень выветривания горных пород, а также дендрохронологические характеристики: проективное покрытие и видовой состав растительности. Кодзунари отмечает, что до его исследований для оценки риска использовались методы многофакторного анализа, например дискриминантное и сложнорегрессионное разложение[15]. Эти методы позволяют получать вполне удовлетворительные результаты.

Метод, используемый Кодзунари, достаточно прост и позволяет при минимальных затратах получить наглядное представление о степени риска возникновения грязекаменных селей на исследуемой территории. Прежде всего выбирают характеристики селевых бассейнов, которыми определяется возникновение селей. Затем множество значений каждой характеристики делят на несколько категорий, которые контурами обозначают на крупномасштабных картах. Эти карты последовательно накладывают друг на друга и создают сводную карту. На каждом экспериментальном участке сводной карты измеряют величины всей площади и площади участков бассейнов, где возможно возникновение грязекаменных селей. Далее для каждой комбинации категорий характеристик подсчитывают отношение всей площади к площади районов возникновения грязекаменных селей. Чем больше величина этого отношения для того или иного участка бассейна, тем больше вероятность возникновения в нем грязекаменных потоков.

Использование многомерного анализа для оценки степени селеопасности территории

В последние годы для классификации или районирования гидрометеорологических параметров оценки внутригодового распределения стока и синхронности многолетних колебаний годового стока используются методы многомерного анализа: корреляционные матрицы, разложение полей информации на естественные ортогональные составляющие, факторный и дискриминантный анализы, алгоритмы распознавания образцов.

В.В.Броботт [16], оценивая селеопасность рек южного побережья оз.Байкал, выделяет два показателя:

1) паводкоформирующий показатель бассейна, предполагается зависящим от густоты речной сети, среднего уклона русла главного водотока, среднего уклона склонов бассейна, максимального размера влекомых наносов;

2) показатель, названный нанософормирующим, который определяется через степень эродированности бассейна и среднюю глубину эрозионных ложбин.

Для анализа и учета влияния каждого из этих параметров применялся компонентный анализ, в качестве меры веса параметра использована мера тесноты связи.

Для небольших относительно однородных территорий первые 2-3 фактора обычно исчерпывают большую часть дисперсии территориальных изменений и поэтому для выделения районов с одинаковыми коэффициентами селеопасности часто бывает достаточно проанализировать корреляционные связи нагрузок на первые три фактора. Так, например, для оценки степени селеопасности статистически однородных селевых бассейнов одного порядка достаточно рассмотреть изменение трех факторов: площадь, уклон тальвега и суточный слой жидких осадков.

5.2 Постановка задачи исследований

Анализ научно-технической литературы за последнее пятидесятилетие показал, что имеются работы так или иначе связанные с расчетом опасности и рисков селевых потоков. Однако законченная методика позволяющая находить численные значения экономических рисков только одна. Это методика, разработанная около 10 лет назад профессором Бабуриным в МГУ. Для классификации и расчета индексов селеопасности применялась методика многокритериального оценивания индекса внешнего водообмена озер, адаптированная нами для применения при расчетах рисков селевых потоков.

Методика оценки экономического риска селевых потоков МГУ и методика многокритериального оценивания рисков селевых потоков позволяют определить вероятность последствий, а также оценить риски прохождения селевых потоков в экономических показателях.

Цель работы заключалась в классификации селевых потоков Таджикистана с учетом многокритериального индекса селеопасности, а также расчет полного экономического риска для каждой из областей и для Республики Таджикистан в целом.

5.3 Методика оценки экономического риска селевых потоков МГУ

В настоящее время оценки риска опасных природных процессов и явлений выполняются несколькими способами. К первой группе методов оценки риска можно отнести, те которые практически подменяют понятие риска понятием опасность, что в корне неверно. Риск есть вероятность нежелательных последствий, а опасность – потенциальная угроза. Опасность, как правило, качественная характеристика, полученная

различными способами. Среди них можно отметить экспертную оценку, широко распространенную балльную оценку. К другой группе методов оценки риска относятся те из них, которые оценивают вероятность последствий. Они, как правило, основаны на теоретических и статистических исследованиях. В основе лежит утверждение, что риск есть функция подверженности, уязвимости и защищенности объекта от опасного природного воздействия. Последние являются наиболее перспективными методами оценки риска.

5.3.1 Оценка индивидуального и коллективного риска селевых потоков

На сегодняшний день научных работ по оценке селевого риска крайне мало. В работе А.Л.Шныпарков и соавт. [17] впервые оценили индивидуальный и коллективный риск селевых потоков на всей территории России в небольшом масштабе.

Для оценки риска селевых потоков используются следующие индикаторы:

- Вероятность гибели человека в результате селевого потока в течение года на определенной территории. Показатель является индивидуальным селевым риском;
- Вероятное количество жертв от селей в течение года на определенной территории. Показатель является коллективным риском.

В формулах для расчета индивидуальных и коллективных рисков учитывается их зависимость от таких количественных показателей селевой активности, как частота, продолжительность основного периода селевых потоков, влияние территории и социальные факторы (численности и плотности населения, заселенной площади, уязвимости населения в пространстве и времени, коэффициента смертности).

Оценка коллективного риска производится по формуле:

$$R_{mf} = P_{mf} \cdot V_s \cdot V_t \cdot d \cdot K_1 \cdot F,$$

где R_{mf} — коллективный селевой риск, жертв/год; P_{mf} — повторяемость селей, раз в год; V_s — уязвимость населения в пространстве, д.ед.; V_t — уязвимость населения во времени, безразм.; d — плотность населения на оцениваемой территории, чел./км²; K_1 — коэффициент летального исхода от селевых явлений, безразм.; F — заселенная площадь в пределах селеопасной территории, км².

Уязвимость населения в пространстве V_s (д.ед.) зависит от пораженности территории селевыми потоками:

$$V_s = S_a / S_t,$$

где S_a — площадь селеопасной территории в пределах изучаемого бассейна, S_t — общая площадь бассейна.

Уязвимость населения во времени V_t (e.d.) зависит от возможного периода присутствия человека в опасной зоне в течение дня и в течение года:

$$V_t = (t_d / 24) \times (t_y / 365),$$

где t_d — время нахождения человека в селеопасной зоне в течение суток, часы; t_y — период присутствия человека в зоне селевых потоков в течение года, равный продолжительности основного периода селевых потоков, в течение которого происходит около 90% всех селей, сут.

Расчет индивидуального селевого риска R_{ind} (1/год) выполнялся авторами по формуле:

$$R_{ind} = R_{mf} / D,$$

где D — численность населения на рассматриваемой территории, чел.

Для каждого из бассейнов рассчитываются следующие параметры: морфометрические параметры (площадь, наклон, повреждение селевыми потоками), характеристики селевой активности (повторяемость), оценка численности населения, ее плотность.

Повторяемость селевых потоков определялась по данным научных публикаций, которые характеризуют этот показатель на местном уровне.

5.3.2 Методика оценки экономического риска селевых потоков

Поскольку оценка рисков селевых процессов в экономических показателях проводилась в среднем масштабе, условный валовой муниципальный продукт на уровне муниципалитетов был взят за основу экономического показателя.

Местное самоуправление - это уровень власти, который отражает управляемую территорию среднего базового пространственно-временного цикла человеческой жизни. Это позволяет в целях моделирования использовать уровень муниципального образования (МО) в качестве единицы учета для определения уровня социально-экономического развития административной единицы и для ее корреляции с естественными и производными рисками.

Единая территориальная система вне зависимости от того, какой из элементов или связей затронуты неблагоприятными и опасными природными явлениями реагирует на эти события как единое целое, а значит, социально-экономический потенциал должен оцениваться (вычисляться) не для локальных объектов, а системы в целом. Другими словами, перекрытие лавиной участка автодороги, или разрушение селом мостовых сооружений, линий электропередач и т. п., сказывается на работоспособности всей ТПХС МО [17].

Такой подход позволяет в методическом плане не вести прямой пообъектный учет потенциально уязвимых объектов социальной и промышленной инфраструктуры, а также оценивать системные последствия локальных явлений и процессов. В этом случае вполне возможно ограничиться совокупностью агрегированных социально-экономических показателей для соответствующих административных и

территориальных образований. Следует иметь в виду, что количество информации, доступной для анализа, уменьшается пропорционально увеличению фрагментации единиц административно-территориального деления.

Таким образом, для оценки риска селевых потоков на этом уровне доступны следующие данные: размер территории, численность населения, коммерческие и некоммерческие основные фонды, объемы промышленного и сельскохозяйственного производства. Все это недостаточно для расчета такого основного совокупного показателя состояния ТПХС МО, как обычный валовой муниципальный продукт. Кроме того, необходимо учитывать, что в настоящее время Госкомстат не разрабатывает этот показатель для уровня МО.

В этой ситуации для заявленных целей моделирования предлагается метод расчета комбинированного прямосчетно-нормативного индекса хозяйственной деятельности МО, идентичный валовому региональному продукту для субъектов федерации.

Суть методологического подхода заключается в проведении итерационной процедуры для получения общей стоимости экономической деятельности в МО (условного валового муниципального продукта) в стоимостном выражении. Для этого:

объем сельскохозяйственной и промышленной продукции в стоимостном выражении суммируется с производством и распределением электроэнергии, воды и газа, что позволяет на основе прямого учета получать стоимость продукции для реального сектора экономики (производство товара);

сектор услуг первоначально рассчитывает их подушевой уровень для субъекта федерации (объем услуг в стоимостном выражении для субъекта Российской Федерации, деленный на население субъекта), а затем рассчитанный коэффициент умножается на численность населения МО с

получением значений нормативного объема предоставляемых услуг в стоимостном выражении;

объединение (сложение) значений производства товаров (полученных прямым счетом) и услуг (полученных на основе нормативного подхода) в стоимостном выражении с выводом значений обычного валового муниципального продукта.

Методы оценки риска, которые оценивают вероятность последствий, обычно основаны на теоретических и статистических исследованиях. Они основаны на утверждении, что риск является функцией восприимчивости, уязвимости и защиты объекта от опасного природного воздействия. Они являются наиболее перспективными методами оценки рисков. При оценке риска склоновых процессов (например, селей) используются следующие индикаторы: вероятность события (частота процессов селевых потоков), уязвимость оцениваемых объектов (уязвимость в пространстве и уязвимость во времени), социально-экономических показатели [18]. Предлагаемый метод оценки экономического риска селей применим в мелком и среднем масштабах.

Для оценки риска селевых потоков в экономических показателях вместо плотности населения и численности населения использовались значения условного валового муниципального продукта в административных регионах. Исследования показали, что даже в пределах селевого бассейна не более 5% территории попадает в зону воздействия селевого потока, а чаще всего пораженный участок составляет 1-2% площади селевого бассейна. Вместо коэффициента летальности использовался коэффициент уязвимости объектов. Таким образом, окончательная формула для расчета общего экономического риска от селей выглядит следующим образом:

$$R_p = P \times Y_t \times Y_s \times S \times K_y;$$

где R_p - полный экономический риск, P - повторяемость селевых потоков, Y_t - уязвимость во времени, Y_s - уязвимость в пространстве, S -

условный валовый муниципальный продукт, K_y - коэффициент уязвимости зданий.

Уязвимость территорий в пространстве определяется пораженностью территорий селевыми потоками, которая определяется:

$$Y_s = F_{\text{mdf}} / F_{\text{tot}}$$

где F_{mdf} - площадь селеопасных бассейнов в пределах административных районов, F_{tot} - площадь административного района.

Уязвимость территорий во времени определяется:

$$Y_t = L_{\text{mdf}} / 365,$$

где L_{mdf} - продолжительность селеопасного периода, 365 - число дней в году.

Значения индекса уязвимости объектов на территориях муниципальных образований принимаются в зависимости от степени опасности селей: для территорий с низкой степенью селевой опасности - 0,01, в среднем - 0,02 и для высоких - 0,05.

На основе разработанной методики были рассчитаны значения риска для каждого из административных районов входящих в исследуемую территорию. В таблице 2 показан результат вычисления экономического риска.

Таблица 1 – Вычисление экономического риска для административных районов Таджикистана.

ГОД	Согдийская обл.	РРП	Хатлонская обл.	ГБАО
1966	0	9	0	0
1967	0	4	0	0
1968	0	8	4	0
1969	17	6	0	0
1970	9	7	0	0
1971	0	3	0	0
1972	0	2	0	0
1973	21	0	0	0
1974	0	1	1	2

ГОД	Согдийская обл.	РРП	Хатлонская обл.	ГБАО
1975	0	4	0	0
1976	3	1	2	0
1977	24	0	0	2
1978	23	2	0	0
1979	12	0	2	0
1980	1	10	1	1
1981	0	8	2	0
1982	3	6	1	0
1983	2	3	5	0
1984	0	5	0	0
1985	9	4	14	4
1986	9	0	8	4
1987	75	36	25	9
1988	2	15	5	10
1989	33	8	7	2
1990	18	17	5	2
P	10,44	6,36	3,28	1,44
Ys	1	1	1	1
Yt	0,249	0,334	0,167	0,167
S	14894	21954	16682	932
Ky	0,02	0,05	0,05	0,01
Rp	775,3	2333,5	457,2	2,2

Таблица 2 – Доля от общего экономического риска для административных районов Таджикистана.

Область	Экономический риск, тыс. сомони в год	Доля от общей суммы риска, %
Горно-Бадахшанская автономная область	2,2	0,1%
Согдийская область	775,3	21,1%
Хатлонская область	457,2	12,5%
Районы республиканского подчинения	2333,5	63,6%
ИТОГО	3668,3	100%

Оценка экономического риска от селевых потоков на территории Таджикистана позволила выделить районы, где значения экономических

рисков максимальны. В целом по всей территории Таджикистана вероятный ежегодный ущерб от селевых потоков превышает 3670 тыс. сомони (23,5 млн. рублей) в ценах 2017 г.

Вероятность экономического риска от селевых потоков на территории Таджикистана по субъектам:

Наибольшие значения риска селевых потоков характерны для Районов Республиканского Подчинения(РРП), где они превышают 2330 тыс. сомони в год (15 млн. рублей), наименьшее значение риска селевых потоков в экономических показателях в результате расчетов получилось в Горно-Бадахшанской автономной области. В целом наибольшие значения селевого риска характерны для тех районов, где селевая деятельность наиболее активна.

5.4 Методика многокритериального оценивания рисков селевых потоков

Рассмотрим подробно процедуру построения индекса *селевого риска*, воспользовавшись идеей метода сводных показателей (МСП), основы которого даны в работах Н.В. Хованова[19]. Особенности селевого потока могут быть с достаточной полнотой описаны с учетом следующих относительно независимых исходных характеристик: x_1 – площади селевого бассейна (F), x_2 – уклон селевого бассейна (H), x_3 – диаметр самого большого камня, переносимого потоком(D), x_4 – скорость прохождения селея (V), x_5 – максимальный расход селея (Q_{max}), x_6 – плотность населения в регионе(ρ).

Поскольку диапазоны изменения исходных характеристик сильно отличаются, то при синтезе индексов возникает необходимость их предварительного “нормирования”. Для этого вместо исходной характеристики x_i рассматривается нормированная характеристика $q_i =$

$q_i(x_i)$, где q_i – некоторая монотонная (возрастающая или убывающая) функция, такая, что $0 \leq q_i \leq 1$, $i = 1, \dots, m$. При этом указанная нормирующая функция q_i может быть интерпретирована как отдельный показатель или критерий степени опасности селевого потока. Например, в данном случае $q_1 = 0$ (нормированная площадь водосбора) соответствует при прочих равных условиях практически безопасному селевому потоку, а $q_1 = 1$ – катастрофическому селю. Аналогично интерпретируются и другие характеристики. Итак, для j – й системы получаем вектор $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)})$ отдельных показателей q_1, \dots, q_5 , каждый из которых характеризует риск прохождения селевого потока с точки зрения соответствующей морфометрической характеристики. Иными словами, вектор $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)})$ – *многокритериальная оценка* особенностей селевого риска, определяемых морфометрией.

Для всех исходных характеристик ограничимся в первом приближении простейшей линейной неубывающей нормирующей функцией, задаваемой формулой:

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i \leq x_{\min}, \\ \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \\ 1 & x_i > x_{\max}. \end{cases}$$

Очевидно, что невозможно сравнивать различные системы непосредственно по всему множеству отдельных показателей, так как по одним показателям j – ая система может характеризоваться более высоким селевым риском, чем i – ая, а по другим отдельным показателям наоборот. Указанная “несравнимость” оценок $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)})$, $q^{(l)} = (q_1^{(l)}, \dots, q_5^{(l)})$ вызывает необходимость построения некоторого *сводного показателя* $Q^{(j)} = Q(q^{(j)}) = Q(q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)})$, интерпретирующего информацию как о значениях отдельных показателей, так и об их значимости. Ограничимся простейшим случаем, когда $Q^{(j)}$ – линейная функция

$$Q^{(j)} = Q(q^{(j)}) = \sum_{i=1}^m w_i q_i^{(j)},$$

где *весовой коэффициент* (“вес”) w_i указывает степень значимости отдельного показателя q_i . Весовые коэффициенты w_1, \dots, w_m удовлетворяют условиям $w_i \geq 0$, $w_1 + \dots + w_m = 1$ и образуют вектор $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_m)$.

Самый сложный этап в МСП - оценка “весов”, поскольку, часто исследователь обладает лишь нечисловой информацией, которую можно выразить сравнительными суждениями типа “характеристика x_i важнее, чем характеристика x_j ”, “характеристики x_r, x_s имеют одинаковую важность” и представить в виде системы равенств и неравенств:

$$OI = \{w_i > w_j, w_r = w_s, i, j, r, s = 1, \dots, m\}. \quad (4)$$

В лучшем случае исследователь может знать интервалы возможного изменения весовых коэффициентов, т.е. владеть неточной информацией:

$$II = \{0 \leq a_i \leq w_i \leq b_i \leq 1, i = 1, \dots, m\}. \quad (5)$$

Такая нечисловая (порядковая) и неточная (интервальная) информация, часто бывает и неполной: не для всех весовых коэффициентов заданы равенства и неравенства, соответствующие интервальной и порядковой информации.

В соответствии с методологией АСПИД оценки весовых коэффициентов w_1, \dots, w_m вычисляются по экспертной информации I , имеющейся у исследователя. Для этого необходимо задать шаг дискретизации $h=1/n$ весовых коэффициентов: $w_i^{(t)} \in \{0, n^{-1}, 2n^{-1}, \dots, (n-1)n^{-1}, 1\}$. Тогда будет существовать $N(m,n) = \binom{n+m-1}{n} = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!}$ возможных наборов $\mathbf{w}^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)})$ весовых коэффициентов, образующих класс $\mathbf{W}(m,n)$. Так, например, при задании числа показателей $m=5$, шага дискретизации $n=20$ число возможных наборов $N(m,n)=10626$. Учет дополнительной информации $I = OI + II$ позволяет перейти к классу допустимых векторов $\mathbf{W}(m,n;I)$ с $N(m,n;I) \leq N(m,n)$. Например, введение дополнительной информации I в виде системы неравенств $\{w_1 > w_2 > w_3 > w_4 > w_5 \geq 0.05\}$ снижает $N(m,n)$ до $N(m,n;I)=7$.

Поскольку информация I обычно задает не единственный набор весовых коэффициентов, возникает *проблема неопределенности выбора весовых коэффициентов*, что затрудняет непосредственное применение МСП. Для преодоления этого затруднения *С.Н. Жук и С.В. Евстратчик* предложил[20] использовать *байесовскую модель рандомизации неопределенности*. Идея этой модели состоит в переходе от неопределенного выбора весовых коэффициентов к случайному (рандомизированному) выбору этих коэффициентов из множества всех допустимых наборов весовых коэффициентов. Иначе говоря, получаются *случайные весовые коэффициенты и случайные (рандомизированные) сводные показатели*

Естественной моделью неопределенности выбора конкретного вектора $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)})$ из класса *допустимых* векторов $W(m,n;I) \subseteq W(m,n)$, построенного с учетом дополнительной информации I , служит m – мерная случайная величина $\tilde{w}(I) = (\tilde{w}_1(I), \dots, \tilde{w}_m(I))$ с равномерными распределениями из множества $W(m,n;I)$. В частном случае, когда у исследователя нет достаточной информации ($I = 0$), случайная величина имеет вид $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$ с равномерными реализациями из множества $W(m,n)$.

Для оценки статистических параметров случайного вектора $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$, равномерно распределенного на множестве $W(m,n;I)$, генерируются все возможные элементы этого множества. Дополнительная информация I , имеющая вид системы неравенств (4), (5) (*nnn – информация I*), учитывается с помощью фильтра, работающего на выходе генератора допустимых векторов и отбирающего те из них, которые удовлетворяют условиям *nnn – информации I*. Сформированное таким образом множество $W(m,n;I)$ позволяет находить статистические характеристики случайного набора весовых коэффициентов $\tilde{w}(I) = (\tilde{w}_1(I), \dots, \tilde{w}_m(I))$, моделирующего неопределенность выбора весовых коэффициентов при наличии информации.

Существует несколько подходов к моделированию дискретной m – мерной случайной величины $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$, равномерно распределенной на множестве $W(m,n)$. Один из них, использованный в данной работе, заключается в генерировании вектора $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$ методом *перебора* всех его возможных значений из множества $W(m,n)$. Теперь можно получить *числовые оценки* весовых коэффициентов, например, в виде математического ожидания $\bar{w}_i(I) = M w_i(I)$ соответствующих случайных весов, определяемого по формуле

$$M_{\tilde{w}_i}(I) = \frac{1}{N(m,n;I)} \sum_{t \in T(m,n;I)} w_i^{(t)}.$$

Точность такой оценки естественно оценить стандартным отклонением

$$s_i(I) = \sqrt{D_{\tilde{w}_i}(I)}, \text{ где}$$

$$D_{\tilde{w}_i}(I) = \frac{1}{N(m,n;I)} \sum_{t \in T(m,n;I)} [w_i^{(t)} - M_{\tilde{w}_i}(I)]^2,$$

а $w(I) = (w_1(I), \dots, w_m(I))$ – вектор случайных весовых коэффициентов.

В этих формулах суммирование ведется по множеству индексов $T(m,n;I)$, состоящему из тех значений t , которые соответствуют векторам $w^{(t)}$, входящим в множество допустимых векторов $W(m,n;I)$. Таким образом, вектор оценок $\bar{w}(I) = (\bar{w}_1(I), \dots, \bar{w}_m(I))$ можно интерпретировать как “числовой образ” нечисловой информации I . Подставляя случайные весовые коэффициенты в выражение (3) для сводного показателя, получаем *случайный сводный показатель*

$$\tilde{Q}^{(j)}(I) = \sum_{i=1}^m q_i^{(j)} \tilde{w}_i(I),$$

представляющий собой случайную величину, распределенную на отрезке от нуля до единицы. Естественной искомой сводной оценкой может служить математическое ожидание $\bar{Q}^{(j)}(I) = M \tilde{Q}^{(j)}(I)$ случайного сводного показателя $\tilde{Q}^{(j)}(I)$, определяемое по формуле

$$M\tilde{Q}^{(j)}(I) = \frac{1}{N(m,n;I)} \sum_{t \in T(m,n;I)} Q^{(j)}(q; w^{(t)}).$$

Тогда точность этой оценки можно измерять с помощью стандартного отклонения $S^{(j)}(I) = \sqrt{D\tilde{Q}^{(j)}(I)}$ в соответствии с выражением

$$D\tilde{Q}(q) = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t \in T(m, n; I)} [Q(q; \mathcal{W}^{(t)}) - M\tilde{Q}(q)]^2.$$

Таким образом, введя дополнительную информацию I о сравнительной значимости отдельных морфометрических показателей риска селевого потока, получаем набор оценок морфометрических индексов $Q^{(j)}(I)$, $j = 1, \dots, N$, где N – число систем и набор значений $S^{(j)}(I)$ точности этих оценок.

В исследовании были использованы шесть морфометрических характеристик. Расчет производился для трех, четырех и шести характеристик (уклон селевого русла, площадь сечения, диаметр наиболее крупного камня, максимальных расход селевого потока, скорость селевого потока, а также плотность населения в регионе) Получены три варианта группировок селевых потоков Таджикистана.

На рисунках 1 - 7 показаны различные варианты классификации рисков селевых потоков в зависимости от количества использованных исходных характеристик, генезиса происхождения и типа селевого потока.

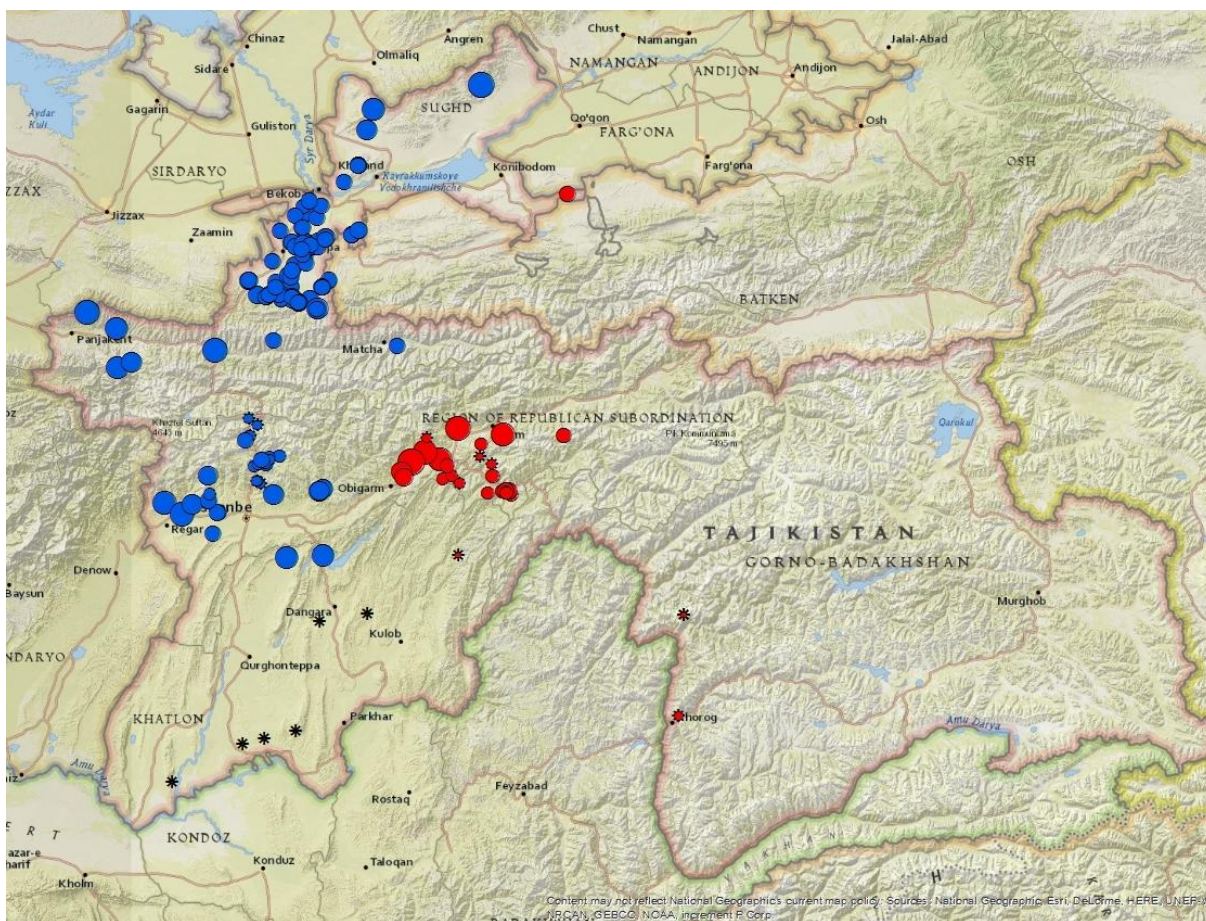


Рисунок 1 – Классификация селевых потоков с использованием трех исходных характеристик.

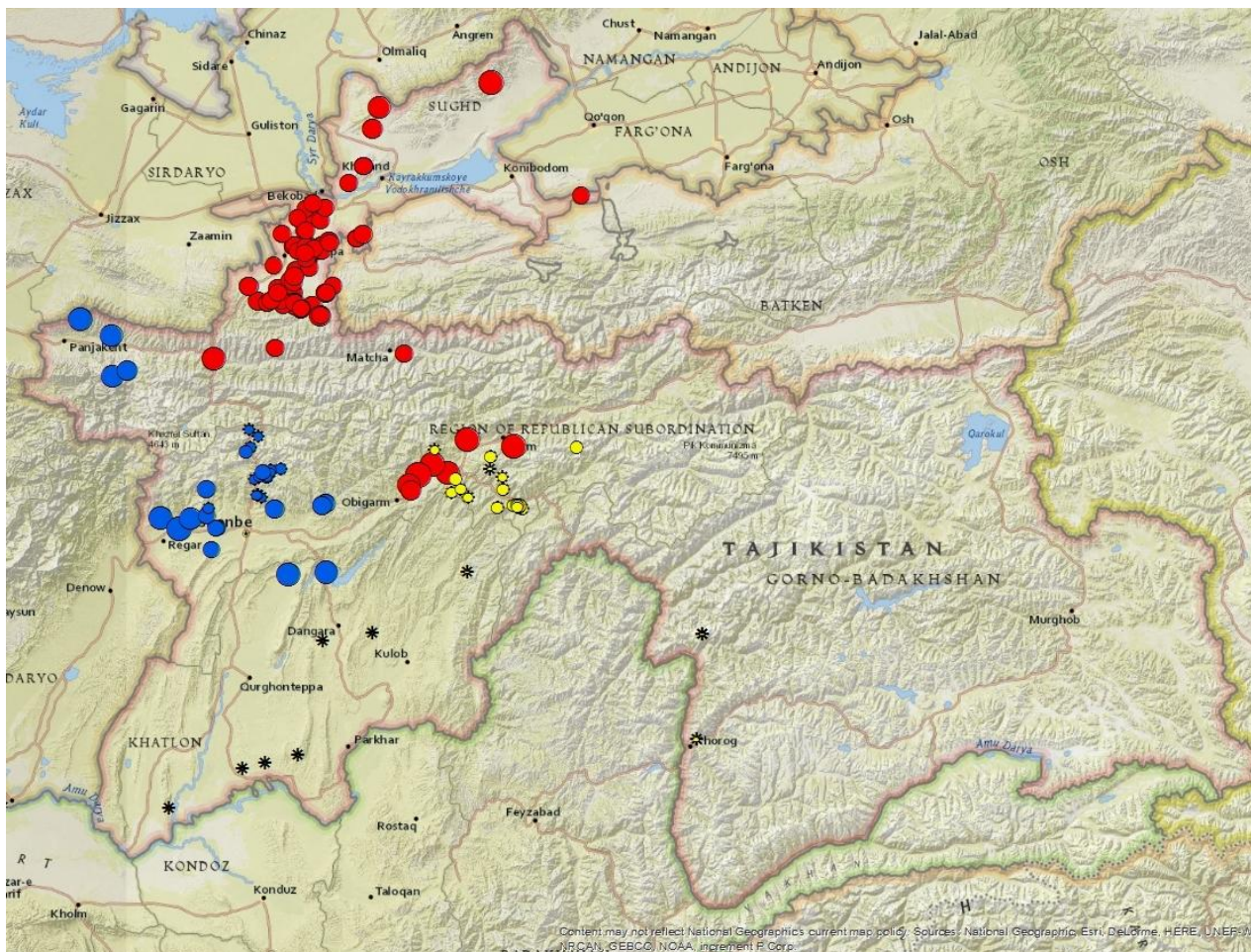


Рисунок 2 – Классификация селевых потоков с использованием четырех исходных характеристик.

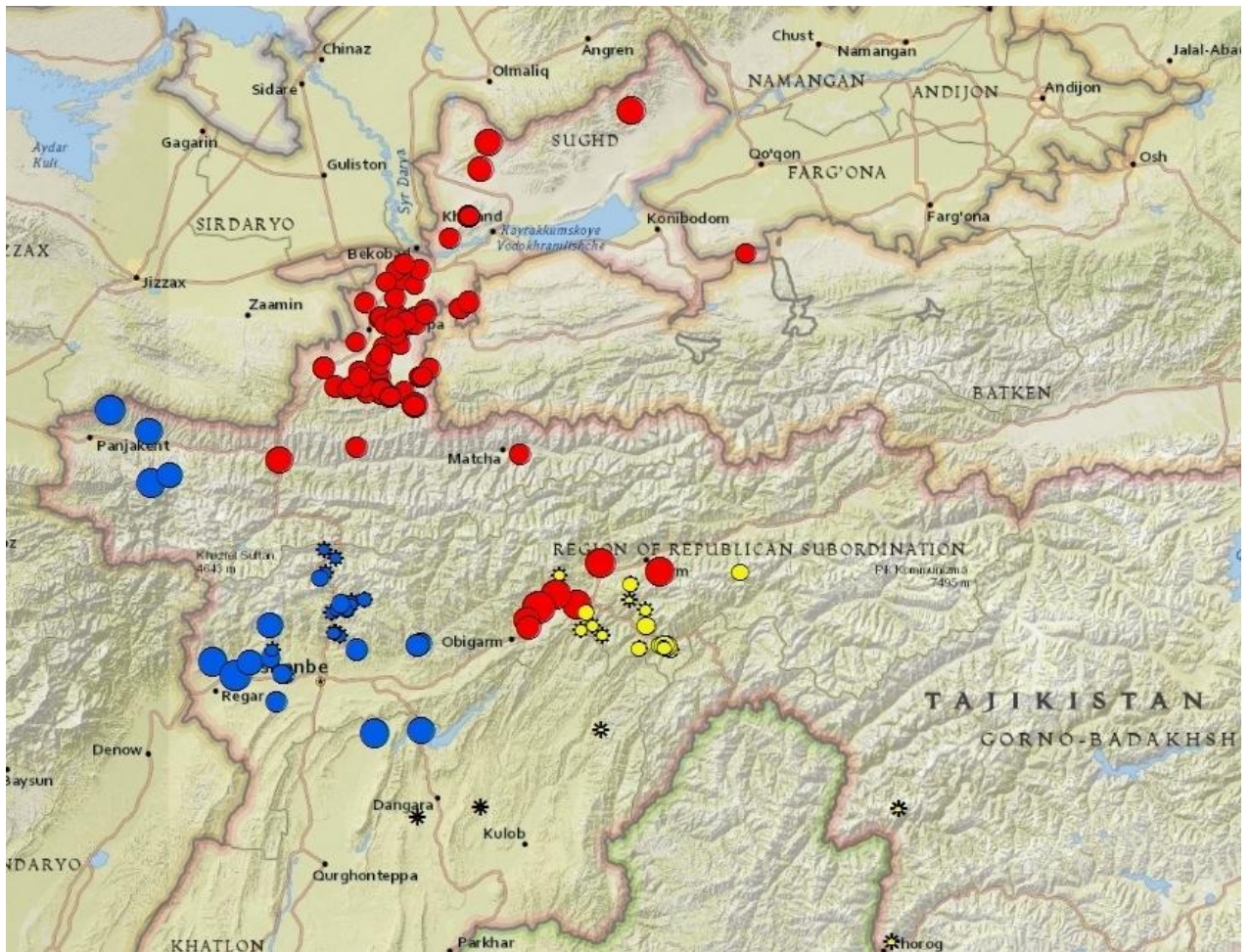


Рисунок 3 – Классификация селевых потоков с использованием шести исходных характеристик.

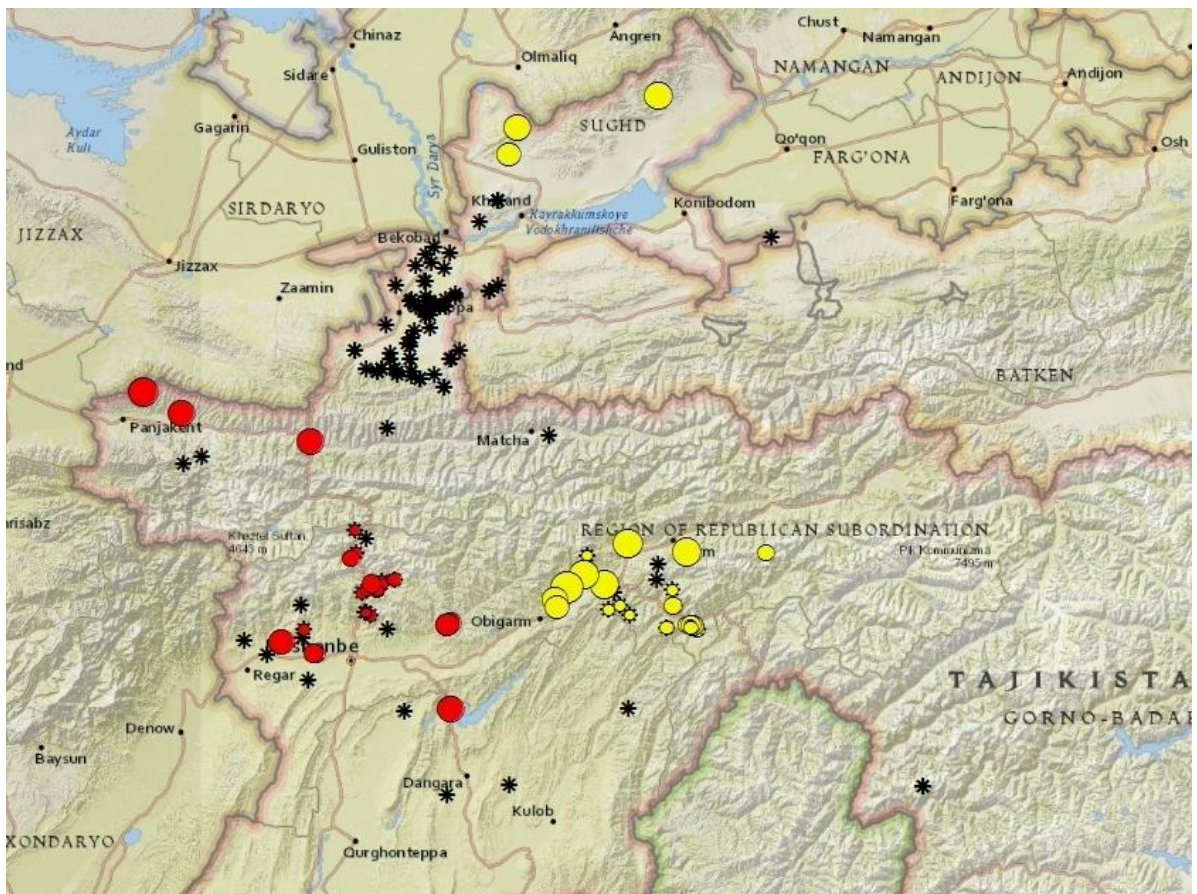


Рисунок 4 – Классификация грязекаменных селевых потоков.

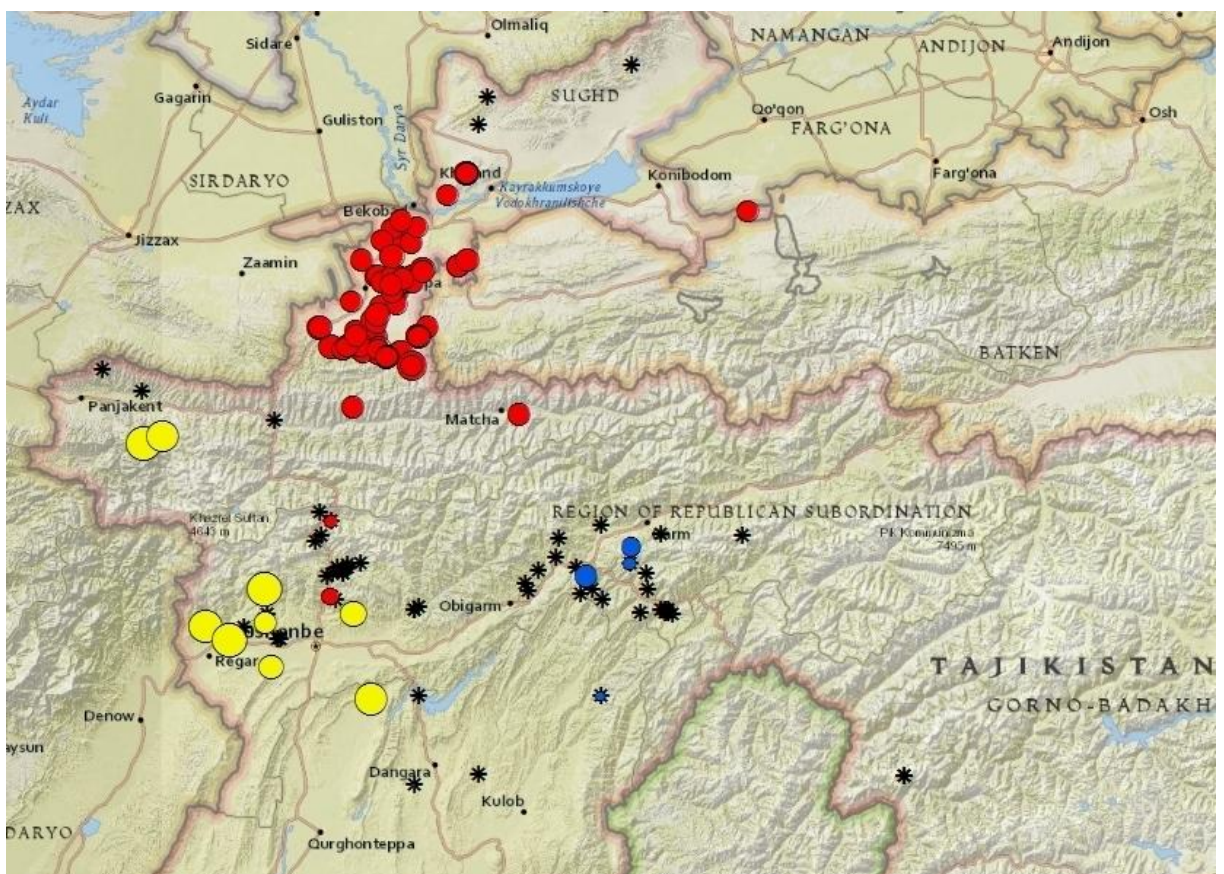


Рисунок 5 – Классификация наносоводных селевых потоков.

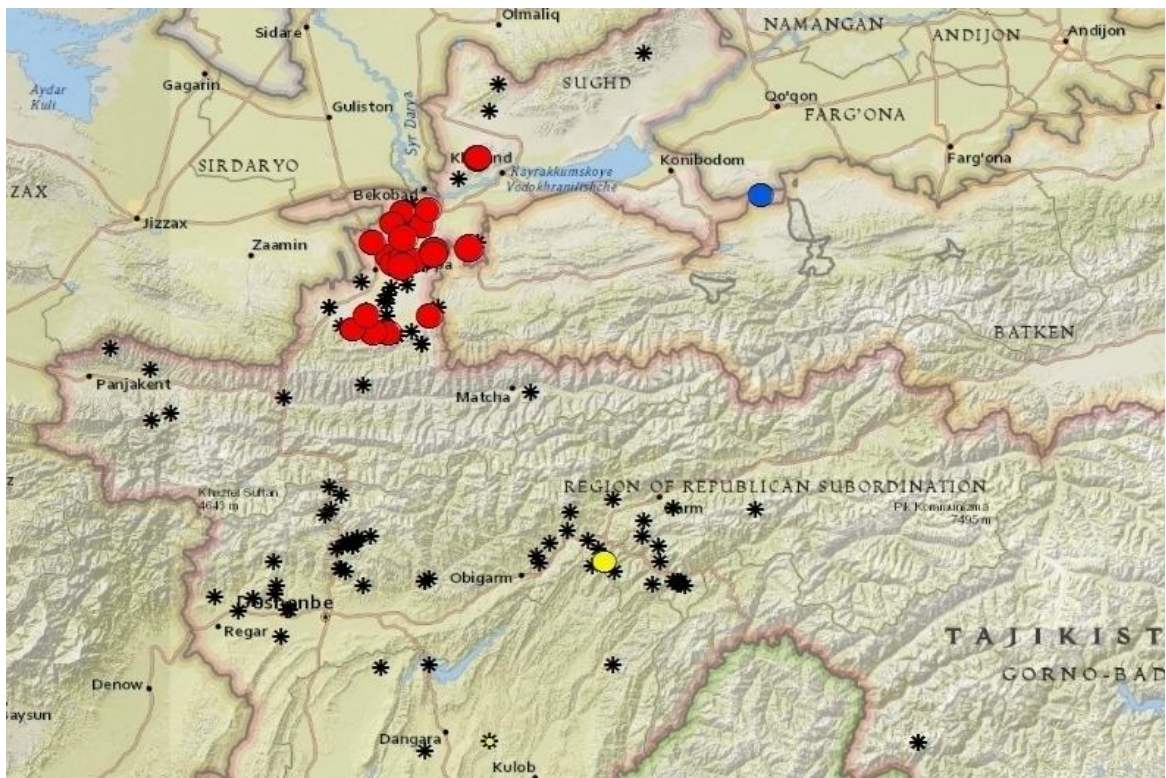


Рисунок 6 – Классификация селевых потоков с использованием трех исходных характеристик.

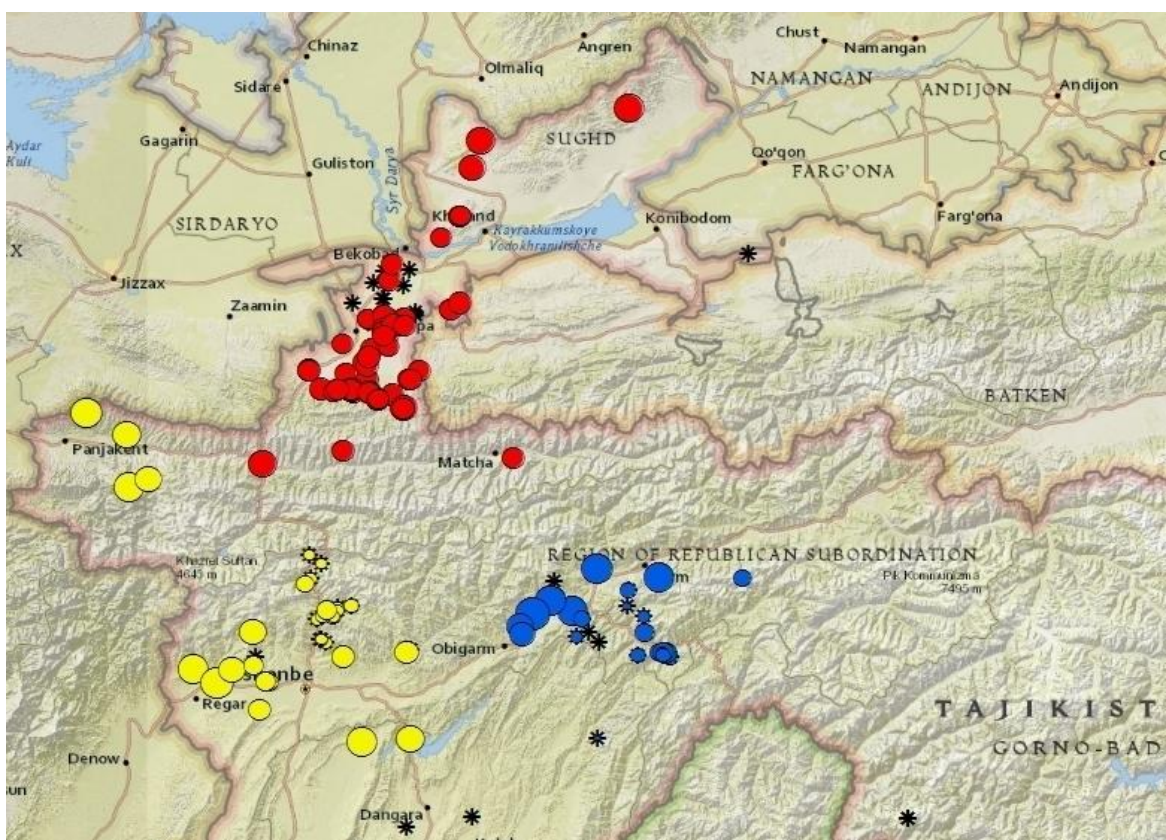


Рисунок 7 – Классификация селевых потоков с использованием трех исходных характеристик.

6 Защита от селевых потоков

6.1 Методы прогнозирования селей

Прогнозирование обычных селей возможно по количеству выпавших ливневых осадков. Опыт показывает, что для формирования селей необходимо, чтобы в результате ливня выпало некоторое критическое количество ливневых осадков. В бассейнах рек Сурхоб и Обихингоу, где многие хребты сложены осадочными рыхлыми породами, для возникновения селевых потоков достаточно 35-40 мм осадков. На юге республики, где породы несколько тверже, метаморфизованнее, для формирования селевых потоков необходимо 40-50 мм осадков. На южном склоне Гиссарского хребта, включая Варзобское ущелье, где преобладают коренные породы - граниты, диориты, для возникновения селевого потока требуется интенсивный ливень с осадком не менее 70-80 мм.

Образование селей связано с сезоном, когда выпадает наибольшее количество осадков в жидком виде. На юге страны сели формируются ранней весной, в марте и апреле, на севере Таджикистана - в конце весны, в мае и июне, в Гиссарской долине наиболее селевыми месяцами являются апрель и май. Гляциальные сели на Памире и Дарвазе наблюдаются в основном в июле и августе[21].

В 1989 году в Управлении Гидрометслужбы Таджикистана лучшими специалистами - селевиками с использованием расчетов, сделанных учеными Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института, был создан проект методических указаний «Метода краткосрочных прогнозов селевой опасности по основным районам Таджикистана», предназначенный для раннего предупреждения селей в марте - августе в предгорьях Центрального и Южного Таджикистана. Хотя за основу было взято количество выпавших жидких осадков, этот метод основывался не на метеорологических, а на

синоптических характеристиках.

Этот метод подтвердил свою надежность при составлении прогнозов селей, образующихся при выпадении продолжительных и интенсивных дождей.

Заблаговременность прогноза составляла от 12 до 24 часов, а при высоких и высотных циклонах при прохождении холодных фронтов - до одного-двух дней.

В настоящее время в Государственном учреждении по гидрометеорологии образование селей, образующихся в результате выпадения жидких осадков, предсказывается в течение 24-48 часов. Предупреждения даются на основе общих синоптических прогнозов: в какой области, когда ожидается выпадение осадков, в какой форме и в каком количестве. Более подробные прогнозы не приводятся из-за нехватки опытных специалистов. Ежемесячно и в конце года проводятся обзоры селей с анализом причин их возникновения, места возникновения селевого потока, его расход, объем, принесенный ущерб и т.д.

Прогноз возникновения гляциальных селей очень сложный, а зачастую и невозможный, что делает их еще более опасными. Чаще всего приледниковые озера прорываются в разгаре или в конце лета во время проникновения очень теплых воздушных масс с юга или юго-запада, когда температура в ледниковой зоне резко повышается на 10-15 градусов. В результате интенсивного таяния льда происходит переполнение гляциальных озер и их прорыв. Такие гляциальные сели могут быть предсказаны по синоптической обстановке, когда ожидается, что горячий воздух с юга или юго-запада должен проникнуть на территорию Таджикистана, но почти невозможно указать точное место их возникновения.

В шестидесятые и семидесятые годы прошлого века большие надежды возлагались на автоматические приборы РОСы - радиооповестители селей. При натяжении или обрыве троса, натянутого поперек селеопасного русла,

устройству должен быть дан сигнал, немедленно пойманный приемником, установленным ниже по течению, чтобы люди могли быть эвакуированы. Испытания показали несовершенство и недоработку этих устройств: они были громоздкими, сложными, дорогими - до восьми тысяч рублей за одну установку, а главное – недостаточно надежными. Как правило, в самые первые минуты селевого потока разбивал всю установку и так быстро, что РОС не успевал срабатывать и передавать сигнал тревоги.

В середине восьмидесятых годов сотрудники КазНИГМИ совместно с конструкторами «Казгеофизприбора» разработали еще одно устройство - СОС (сейсмооповеститель селя). При прохождении селевого потока наблюдается сильный характерный гул и вибрация почвы. Устройство, установленное вблизи селеопасного русла, улавливает эту дрожь и этот звук, по которому можно даже косвенно определить размер селевого потока, его скорость и плотность, и информирует местный штаб Комитета по чрезвычайным ситуациям. К сожалению, распад Советского Союза не позволил продолжить работу над этим перспективным устройством и снабдить им гидрометеорологическую службу в Центральной Азии.

В феврале 1911 года, в самом центре Памира, в результате землетрясения силой в десять баллов, произошел гигантский обвал, блокирующий реку Мургаб. За десятки лет образовалось Сарезское озеро глубиной до 500 метров и объемом 16 миллиардов кубометров. Скоро этому озеру исполнится сто лет, но до сих пор ученые и жители нижних деревень обеспокоены тем, что произойдет, если вода прорвется через естественную плотину, или при следующем землетрясении в озеро рухнет новый обвал, и гигантская волна перехлестнет гребень завала. В самом деле, в таком случае может возникнуть катастрофический сель, который опустошит берега Бартанга, Пяндж и даже Аму-Дарьи. Поэтому в настоящее время в районе озера Сарез, на берегу вытекающей из него реки Бартанг, у кишлака Савноб, в случае образования катастрофического селя, установлена система автоматической сигнализации с условным названием

«Усой».

6.2 Борьба с селями

Методы борьбы с селевыми потоками можно разделить на две группы: профилактические или предупредительные и защитные. Таким образом, Ю.Б. Виноградов называет наиболее перспективными способами борьбы с селями следующие активные воздействия:

Мелиорация водосборов:

- задернение и облеснение склонов;
- создание нагорных канав, валов, запруд, призванных задержать ливневые воды на склонах.

Мелиорация ледниково-моренного комплекса:

- капитальная мелиорация, приводящая к невозможности образования водоема в данном месте;
- аварийная мелиорация, ликвидирующая угрозу со стороны уже существующего водоема.

Мелиорация селевых очагов:

- мелиорация очагов обводнения;
- дренаж и перехват вод для снижения обводняемости положения селевой массы (ПСМ);
- укрепление ПСМ.

Мелиорация очагов взаимодействия:

- отвод полный или частичный водного потока;
- стабилизация ПСМ.

Средства борьбы с деструктивным воздействием селей - это строительство различных гидротехнических сооружений в руслах рек. Наиболее эффективными из них являются плотины, полностью покрывающие не только русло реки, но и ее долину. Объем создаваемого в этом случае селехранилища должен превышать расчетную величину

объема селевого потока. В ряде случаев рекомендуется строить ряд небольших плотин, особенно в верхних частях реки. Примером является плотина на реке. Малая Алмаатинка, высотой более 100 м, построенная в 1967-1968 годах. Она предназначена для защиты города Алма-Ааты от разрушительного воздействия селей. В таких плотинах обычно создаются устройства для сброса воды. Однако, как показал опыт их эксплуатации, эти устройства не эффективны, так как очень быстро заносятся наносами.

Эффективный способ борьбы с селевыми потоками используется в США - путем создания системы селехранилищ, построенных на достаточно протяженной части русла. Такие системы выполняют не только пассивную селезадерживающую роль, но в то же время являются активными противоселевыми структурами, направленными на уменьшение селевого потока в бассейне. Действительно, помимо непосредственной селезадерживающей роли, они также являются активными противоселевыми сооружениями, направленными на уменьшение селевой деятельности в бассейне. Помимо задержания части селя, наиболее крупной его массы, эти сооружения уменьшают на расчетном участке уклон дна русла.

Последовательное увеличение высоты таких запруд или плотин и уменьшения расстояния между ними (посредством строительства дополнительных сооружений) может привести к полному прекращению селевой деятельности на зарегулированном участке реки. Следует отметить большую роль прогноза и оповещения населения о формировании и движении селей, что часто приводит к сохранению жизни людей.

В Республике Таджикистан, насколько это возможно, ведется борьба с этим ужасным природным явлением.

В конце прошлого века в городе Душанбе был построен оросительный канал, окружающий территорию, подверженную селям, а также построены сборные коллекторы и водоотводы. Оросительный канал

обеспечивал местное население водой, а во время дождей перехватывал и отводил воду, которая могла образовывать сели. К сожалению, жители пригородов столицы недостаточно грамотны и сознательны, чтобы защитить эти селевые сооружения: пятиметровая санитарная зона по обоим берегам оросительного канала теперь застроена, сам канал замусорен и заилен. Все это стало причиной образования селей весной 2009 года, когда в апреле и мае выпало две нормы осадков.

Необходимо построить еще несколько коллекторов и водоотводов, чтобы полностью защитить жителей столицы от опасностей селевых потоков. На участке автомагистрали Душанбе-Худжанд, проходящем вдоль Варзобского ущелья, местами построены селедуки. К сожалению, самый крупный из них, расположенный напротив кишлака Гажни, плохо спроектирован: большая часть селевых наносов не сбрасывается в русло Варзоба, а выплескивается на проезжую часть.

В районе Куляба на селеопасных руслах рек были построены сбросные гидротехнические сооружения: селеотводные каналы, селенаправляющие дамбы, наносоуловители котлованного типа и другие. Такие же гидротехнические сооружения были возведены на многих реках Северного Таджикистана. К сожалению, их эффективность по-прежнему очень низка, из-за отсутствия средств, они часто создаются наспех, из сыпучего материала, поэтому после каждого прохождения селей такие сооружения должны ремонтироваться или перестраиваться. В будущем такие сооружения должны строиться только из железобетона.

Пастбищно-мелиоративные мероприятия направлены на сохранение на высокогорных пастбищах густого дернового покрова, который поглощает осадки, удерживает их и равномерно питает ручьи и родники. В случае, когда крупный рогатый скот вытаптывает пастбище, начинается ветровая эрозия, почва смывается атмосферными осадками и талыми водами, частично смывается с крутых скалистых склонов, а если поступает большое количество воды, она становится частью селевого потока.

Агромелиоративная защита заключается в первую очередь в уменьшении стока со склонов, на которых выращиваются сельскохозяйственные культуры, во время таяния снега или выпадения интенсивных осадков, для уменьшения размывания склонов осадками. И поэтому здесь первое место принадлежит глубокой вспашке поперек склонов. Как показал опыт США, такая вспашка снижает поверхностный сток воды на 1-20% и вдвое уменьшает смыв почвы в 24 случаях из 28. Однако для многих предгорных районах Таджикистана такая вспашка невозможна из-за малой мощности почвенного покрова. Кроме того, для такой вспашки, особенно на крутых склонах, требуются специальные сельскохозяйственные машины с низким центром тяжести, тракторы с переменной высотой гусениц и т. п.

Выращивание лесов на склонах называется лесо-мелиоративным способом борьбы с селевыми потоками. Самая надежная защита от селей - это горные леса, которые удерживают почву на склонах, сохраняют влагу и медленно отдают ее рекам и ручьям. Не зря, в четырнадцатом веке, в альпийских странах - Швейцарии, Австрии, Италии, Германии - некоторые леса и рощи считались священными, им запрещалось рубить деревья под угрозой смерти.

Бассейны горных рек, склоны которых покрыты густыми лесами с мощной корневой системой, очень редко являются селеопасными. Лес с его корнями связывает почву, защищая ее от размыва. Кроны деревьев, кустарников, травяного покрова, лесной подстилки защищают коренную породу от выветривания, ослабляя эрозионные процессы. Деревяно-кустарниковая растительность задерживает значительную часть выпадающих осадков, способствуя ослаблению стока путем его рассредоточения, а лесная подстилка увеличивает водопроницаемость почв и коренных пород. Стена древесных стволов блокирует путь осыпям, обвалам, камнепадам. Поэтому наличие лесов является наиболее эффективным способом предотвращения образования селей. Даже

кустарник и травяной покров защищают поверхность горных пород от выветривания и разрушения. Задернованные, покрытые травой и кустарником участки склонов редко являются очагами зарождения селей.

Очень трудно расти дереву на голых скалах в разреженном воздухе. Поэтому двухсотлетняя арча выглядит как маленькое молодое дерево. Но стоит подсчитать кольца, и становится ясно, как трудно ей дается каждый год жизни. И все же травы, деревья и кусты можно найти даже на старых моренах, под которыми – лед.

К большому сожалению, таких лесов в Таджикистане всего три-четыре процента. А там, где вырубается лес, начинается эрозия - разрушение горных склонов: дожди и талые воды быстро смывают тонкий слой почвы. Стоимость облесения гор, несмотря на все трудности, связанные с посадкой деревьев, на склонах, по расчетам австрийских ученых, примерно вдесятеро меньше, чем возведение капитальных инженерных сооружений, которые нужны лишь там, где не могут расти деревья.

В настоящее время наиболее важными мерами являются своевременный прогноз и готовность населения к быстрой эвакуации. Очень важно в кратчайшие сроки вывести все население поселка или кишлака из опасного района, разместить в безопасном месте, защитить его от холода и осадков, обеспечить питание, организовать медицинскую помощь. Это называется организационно-хозяйственными методами борьбы с селевыми потоками. Сейчас в Душанбе на базе бывшей Станции юных натуралистов готовят специалистов, которые будут обучать сельское население, как вести себя при землетрясениях, схода снежных лавин, при наводнении и возникновении селевых потоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

- выполнен анализ методов расчета экономического риска при возникновении селевых потоков. На этой основе рекомендованы конкретные методы расчета рисков для различных регионов Таджикистана;
- сформирована база данных по селевым потокам Республики Таджикистан;
- наилучшие результаты получены при применении методики многокритериального оценивания рисков селевых потоков;
- рассчитаны экономические риски селевых потоков для каждого административного района Таджикистана и для республики в целом;
- разработаны карты селевой опасности территории Республики Таджикистан;
- выполнен анализ полученных результатов, на основе которого выделены наиболее селеопасные регионы Таджикистана;
- рекомендованы методы профилактики селевых потоков в селеопасных регионах Таджикистана;
- рекомендованы наиболее эффективные методы борьбы с селями, основанные на строительстве селехранилищ;
- рекомендовано продолжение исследований по разработке методов прогнозов и предупреждения населения о селях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Флейшман С.М. Сели. Л., Гидрометиздат, 1970. 352 с.
- 2 Виноградов Ю.Б. О структуре и динамике селевой массы. — «Селевые потоки», 1977, сб.2, с. 3-27.
- 3 Хонин Р. В. Селевые явления северного полушария. — Селевые потоки, 1982, сб. 6, с. 97—126.
- 4 Айзенберг М. М. Некоторые особенности формирования селевых потоков в Карпатах. — Материалы V Всесоюзного совещания по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку, 1962, с. 90—94.
- 5 Aulitzky H. Vergleichende Betrachtung der Wildbach und Lawinenverbanung in Japan und Osterreich. — Shin Sabo j Eros. — Contr. Eng. Soc., 1976, N 28, S. 6—19.
- 6 Bjerrum L. Kvikkleireskred. — Publikasjon Norges Geotekniske Institute, 1971, N 89. — 18 S.
- 7 Тевзадзе В. И. Распространение эрозионно-селевых явлений в Японии. — Гидротехника и мелиорация, 1975, № 12, с. 97—101.
- 8 Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 155 с.
- 9 Руководство по изучению селевых потоков. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 144 с.
- 10 Отчет по теме «Изучение условий формирования селей в бассейне реки Варзоб (южный склон Гиссарского хребта)». 1976, Архив Управления Гидрометслужбы Таджикистана.
- 11 Семинар по оценке опасности стихийных бедствий на западе ГБАО. Душанбе-Хорог, 2004.

12 Коротный Л.М. Гидрографические характеристики строения речных систем верхнего Енисея. - В кн.: Климат и воды Сибири. Новосибирск; Наука, 1980, с. 160-175.

13 Хонин Р.В. Методика составления обзорной карты селеопасных районов СССР. - Селевые потоки, 1980, сб. 5, с. 34-41.

14 Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений. - М.: ФОЛ Гидропроекта, 1985. - 110 с.

15 Эгава Е. , Седзи Х. Методика исследований разрушений горных пород с помощью аэрофотосъемки. - Токио: Изд-во Нац. геогр.института Мин-ва строит-ва, 1976. - 372 с.

16 Броботт В. В. Элементы комплексной оценки селеопасности рек южного побережья оз.Байкал. - В кн.: Изучение и освоение новых районов Сибири. Иркутск, 1979, с. 49-52.

17 Бабурин В.Л., Гаврилова С.А., Грязнова В.В., Шныпарков А.Л. Определение полного и удельного экономического риска селевых потоков на Северном Кавказе // III Международная конференция «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита»: сборник докладов, Южно-Сахалинск 22–26 сентября 2014 г. / Отв. ред. Н.А. Казаков, -Сахалин: Сахалинский филиал ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 2014. С. 97-100.

18 Мягков С.М., Шныпарков А.Л. Концепция риска. Раздел монографии «Природные опасности России. Раздел монографии «Природа, общество и окружающая среда». – М.: Изд-во Городец. 2004. Т.4. С.265-274.

19 Хованов Н. В., “Оценка сложных экономических объектов и процессов в условиях неопределенности”, К 95-летию метода сводных показателей А. Н. Крылова, Вестник СПбУ. Сер. 5, 1 (2005), 138–144

20 Жук С.Н., Евстратчик С.В. Применение байесовской модели для оценивания вероятностей альтернатив в условиях неопределённости с

использованием нечисловой, неточной и неполной экспертной информации // Труды СПИИРАН. 2012. Вып. 21. С. 95-119.

21 Таджикистан (природа и природные ресурсы). Академия Наук ТаджССР. «Дониш», Душанбе, 1982, стр. 245-246.

22 Лю Чжэнпин, Селевые потоки и методы их расчета (на примере бассейна реки Сяоцзян): дис. ...канд. геогр. наук. СПб., 1993.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – База данных селевых потоков Республики
Таджикистан в период с 1966г. по 1983г.

	Lat	Lon	Дата	I,‰	F, м ²	D, м	V, м/с	Qmax, м ³	T, сек	Тип	Причина
1	68,78	38,97	05.05.1966	0,107	20,0	0,5	2,31	43,6	180	ГК	ЛД
2	68,89	38,83	06.05.1966	0,036	67,2	0,9	2,74	185		ГК	ЛД
3	68,97	38,87	06.05.1966	0,092	34,1	0,8	2,46	81,3	420	ГК	ЛД
4	68,91	38,86	06.05.1966	0,142	15,2	1,1	2,91	48,8	420	ГК	ЛД
5	68,81	38,82	06.05.1966	0,115	11,3	1,0	3,00	40	420	ГК	ЛД
6	68,84	38,83	06.05.1966	0,165	8,0	1,1	3,53	30,3	420	ГК	ЛД
7	68,89	38,84	06.05.1966	0,032	45,3	0,4	1,90	82,4	420	ГК	ЛД
8	68,91	38,85	06.05.1966	0,117	14,8	0,6	2,33	50,6	420	ГК	ЛД
9	68,89	38,83	06.05.1966	0,063	17,9	1,1	2,09	55,5	420	ГК	ЛД
10	70,15	39,01	27.04.1967	0,099	39,2	1,4	3,90	152	50	ГК	ЛД
11	70,03	38,85	16.05.1967	0,074	38,1	1,1	3,47	131	60	ГК	ЛД
12	69,93	38,89	16.05.1967	0,101	34,6	1,9	4,81	168	30	ГК	ЛД
13	69,84	38,84	02.06.1967	0,040	74,4	1,1	3,53	265	210	ГК	ЛД
14	68,73	37,38	13.04.1968	0,012	3,7	0,2	1,38	5,1		ГК	ЛД
15	68,87	37,41	13.04.1968	0,012	8,9	0,2	1,31	11,9		ГК	ЛД
16	70,84	38,97	15.05.1968	0,146	41,0	2,5	4,07	165		ГК	ЛД
17	70,34	38,68	17.05.1968	0,057	47,0	1,6	2,49	118		ГК	ЛД
18	70,37	38,83	24.05.1968	0,056	20,0	1,1	4,27	85,4		ГК	ЛД
19	70,38	38,77	24.05.1968	0,078	50,5	1,6	6,75	342		ГК	ЛД
20	68,27	37,18	24.05.1968	0,010	11,1	0,3	1,71	19,5	125	Г	ЛД
21	69,08	37,45	24.05.1968	0,015	20,0	0,7	2,54	50,8	185	ГК	ЛД
22	38,85	38,73	11.06.1968	0,060	20,0	1,4	3,51	71	10	ГК	ЛД
23	69,94	38,96	18.06.1968	0,097	4,3	1,0	1,24	5,49		ГК	СГ
24	70,5	38,67	20.06.1968	0,124	31,6	1,5	3,54	111		ГК	ЛД
25	69,2	39,93	09.03.1969	0,022	2,3	0,1	0,79	3,22	480	НС	ЛД
26	69,05	39,95	09.03.1969	0,020	1,4	0,3	1,43	6,77	300	НС	ЛД
27	69,15	39,95	09.03.1969	0,018	19,1	0,4	1,07	28,9	540	НС	ЛД
28	69,75	39,43	09.03.1969	0,028	3,1	0,3	1,64	4,09	480	НС	ЛД
29	69,05	39,95	14.04.1969	0,020	1,0	0,2	1,18	3,94	60	НС	ЛД
30	69,07	39,84	14.04.1969	0,017	17,9	0,1	0,85	25,2	660	НС	ЛД
31	68,5	38,77	15.04.1969	0,025	63,3	2,5	5,66	358	450	НС	ЛД

32	68,22	38,63	15.04.1969	0,024	48,2	0,5	2,15	164	210	НС	ЛД
33	68,33	38,57	16.04.1969	0,012	62,5	0,4	1,84	210	170	НС	ЛД
34	69,13	39,97	19.04.1969	0,018	6,6	0,3	0,67	7,97	210	НС	ЛД
35	69,23	39,96	25.04.1969	0,030	4,4	0,0	0,40	3,14	270	НС	ЛД
36	69,05	39,73	25.04.1969	0,024	7,0	0,1	0,55	6,62	300	НС	ЛД
37	68,95	39,75	25.04.1969	0,029	4,6	0,0	0,51	4,17	280	НС	ЛД
38	69,49	40,34	26.04.1969	0,017	13,7	0,5	2,20	21,6	510	НС	ЛД
39	69,15	39,9	26.04.1969	0,020	3,0	0,4	1,97	16,7	400	НС	ЛД
40	69,04	39,79	26.04.1969	0,017	25,9	0,2	1,07	43,5	410	НС	ЛД
41	68,83	39,69	26.04.1969	0,018	22,3	0,3	1,54	33,4	430	НС	ЛД
42	68,99	39,68	12.05.1969	0,030	2,7	0,1	0,56	2,38	260	НС	ЛД
43	69,05	39,73	12.05.1969	0,024	6,7	0,1	0,55	6,31	270	НС	ЛД
44	69,14	39,92	21.05.1969	0,018	3,9	0,2	0,51	3,58	170	НС	ЛД
45	70,05	38,75	10.07.1969	0,139	11,3	0,6	2,69	26,4		ГК	ЛД
46	70,48	38,68	22.07.1969	0,086	39,5	2,5	4,16	143		ГК	О
47	70,44	38,69	22.07.1969	0,084	44,1	1,0	3,83	182		ГК	ЛД
48	70,16	38,73	23.07.1969	0,102	11,0	0,6	2,32	2,97		ГК	ПО
49	70,11	38,77	12.06.1969	0,102	22,8	0,6	2,32	6,16		Г	ОД
50	68,77	39,06	18.07.1970	0,090	9,7	1,2	1,68	18,4	420	ГК	ЛД
51	70,3	40,74	18.07.1970	0,280	18,6	1,1	4,58	80,9		ГК	ЛД
52	70,48	38,69	19.07.1970	0,063	85,3	2,2	4,43	406	120	ГК	ЛД
53	70,46	38,69	19.07.1970	0,061	78,3	2,3	4,44	341		ГК	ЛД
54	70,46	38,69	20.07.1970	0,098	22,0	1,8	3,14	68,2		ГК	ЛД
55	69,17	39,67	21.07.1970	0,030	12,0	0,2	1,83	20	390	НС	ЛД
56	68,97	39,69	22.07.1970	0,028	35,2	0,4	2,12	67,6	360	НС	ЛД
57	69,06	39,68	22.07.1970	0,024	27,2	0,5	1,59	59,8	360	НС	ЛД
58	69,1	39,65	22.07.1970	0,022	21,1	0,4	1,30	47,7		НС	ЛД
59	69,22	39,62	22.07.1970	0,018	54,7	0,5	1,97	134	570	НС	ЛД
60	68,77	39,76	22.07.1970	0,020	22,8	0,2	1,38	34,9	320	НС	ЛД
61	69,55	40,52	27.07.1970	0,100	22,0	2,5	3,43	71,1		ГК	ЛД
62	69,59	40,62	28.07.1970	0,140	31,9	1,8	4,71	132	30	ГК	ЛД
63	68,75	38,95	31.07.1970	0,190	34,9	2,5	5,19	162		ГК	ЛД
64	69,26	38,36	20.04.1971	0,055	28,7	1,3	2,87	82,1	30	ГК	ЛД
65	68,83	38,74	20.05.1971	0,120	7,6	0,8	2,74	18,5	120	ГК	ЛД
66	70,44	38,98	25.05.1971	0,080	37,5	1,2	2,52	95,2		ГК	ЛД
67	70,46	38,68	11.05.1972	0,064	43,5	2,0	4,80	118	40	ГК	ЛД

68	68,4	38,62	22.05.1972	0,023	21,2	0,8	1,67	60,1	270	ГК	ЛД
69	69,06	39,66	04.04.1973	0,019	2,7	0,2	1,02	2,7	210	НС	ОД
70	68,99	39,67	04.04.1973	0,020	8,7	0,2	0,55	7,8	210	НС	ОД
71	68,89	39,68	07.07.1973	0,018	2,2	0,1	0,80	1,73	90	НС	ОД
72	69,49	40,34	07.07.1973	0,028	1,2	0,2	1,30	1,6	120	НС	ОД
73	69,45	39,99	11.07.1973	0,018	7,1	0,2	1,50	10,6	240	НС	ОД
74	68,89	39,68	11.07.1973	0,018	1,5	0,2	1,06	1,58	130	НС	ОД
75	69,49	40,34	11.07.1973	0,020	5,8	0,2	1,04	8,2	260	НС	ОД
76	69,49	40,34	17.04.1973	0,020	8,9	0,2	1,55	1,38	210	НС	ОД
77	69,17	39,93	25.04.1973	0,019	9,7	0,3	1,04	13,1	180	НС	ЛД
78	69,17	39,93	26.04.1973	0,019	18,5	0,3	1,28	34,8	240	НС	ЛД
79	69,17	39,93	26.04.1973	0,019	11,6	0,2	1,47	22	150	НС	ЛД
80	69,12	39,92	26.04.1973	0,010	2,4	0,1	1,27	4	180	НС	ЛД
81	68,94	39,46	26.04.1973	0,025	2,3	0,1	1,23	4	180	НС	ЛД
82	68,89	39,68	26.04.1973	0,019	2,3	0,2	0,60	2,1	90	НС	ЛД
83	68,91	39,69	26.04.1973	0,019	8,2	0,2	1,35	11	180	НС	ЛД
84	69,49	40,34	25.05.1973	0,019	9,4	0,2	1,26	15,6	280	НС	ЛД
85	69,25	39,73	25.05.1973	0,019	5,8	0,2	1,20	8,6	240	НС	ЛД
86	68,89	39,68	26.05.1973	0,019	1,6	0,1	0,60	1,7	280	НС	ЛД
87	69,45	39,99	26.05.1973	0,018	12,7	0,2	1,89	19	300	НС	ЛД
88	68,91	39,69	26.05.1973	0,019	1,8	0,2	0,56	2,1	280	НС	ЛД
89	69,17	39,93	26.05.1973	0,019	9,4	0,2	1,02	12,5	330	НС	ЛД
90	68,83	38,74	08.04.1974	0,085	5,0	0,3	1,52	8,6	180	ГК	ЛД
91	69,02	38,35	06.06.1974	0,010	48,4	0,5	2,13	152		НС	ЛД
92	71,63	38,05	30.06.1974	0,013	17,0	0,2	1,32	17	180	ГЛ	ПТ
93	71,63	38,05	10.07.1974	0,012	57,3	5,0	2,59	231	210	ГЛ	ПТ
94	68,58	38,58	16.05.1975	0,046	12,3	0,5	2,67	50,3	45	ГК	ЛД
95	68,57	38,58	16.05.1975	0,047	30,2	1,0	2,80	1,26	45	ГК	ЛД
96	68,54	38,47	16.05.1975	0,019	35,7	0,5	1,89	158	150	НС	ЛД
97	68,83	39,03	15.07.1975	0,081	7,8	0,1	1,87	17,8	300	НС	ЛД
98	69,24	38,02	16.04.1976	0,022	16,3	0,3	1,64	37,3		НС	ЛД
99	69,55	38,06	16.04.1976	0,022	10,0	0,4	1,81	26	90	НС	ОД
100	68,94	68,67	12.05.1976	0,240	6,2	2,0	3,28	28,3	10	НС	ЛД
101	67,91	39,32	17.05.1976	0,050	58,7	1,1	3,43	262	90	НС	ЛД
102	67,76	39,25	17.05.1976	0,050	17,0	0,9	3,16			НС	ЛД
103	68	39,35	17.05.1976	0,050	39,6	1,0	3,32	171	90	НС	ЛД

104	69,45	39,99	29.05.1977	0,012	5,9	0,3	1,42	8,4	180	НС	ЛД
105	69,3	39,76	29.05.1977	0,021	8,2	0,3	0,98	8	360	НС	ЛД
106	69,1	39,65	29.05.1977	0,023	5,2	0,2	1,08	5,6	150	НС	ЛД
107	69,22	39,62	29.05.1977	0,012	6,7	0,2	0,67	7,58	360	НС	ЛД
108	69,17	39,93	30.05.1977	0,018	10,7	0,2	0,50	10	570	НС	ЛД
109	69,49	40,01	30.05.1977	0,018	16,2	0,3	0,90	19	600	НС	ЛД
110	68,97	39,69	31.05.1977	0,020	6,3	0,2	0,51	5,4	370	НС	ЛД
111	69,06	39,68	31.05.1977	0,012	6,8	0,2	0,67	7,2	360	НС	ЛД
112	69,17	39,93	01.06.1977	0,018	28,9	0,3	1,04	40,4	130	НС	ЛД
113	69,49	40,34	03.06.1977	0,013	3,6	0,2	0,56	5,64	390	НС	ЛД
114	68,91	39,69	03.06.1977	0,012	7,5	0,2	0,75	8,03	210	НС	ЛД
115	69,1	39,65	03.06.1977	0,032	2,1	0,3	1,57	3,28	140	НС	ЛД
116	69,17	39,93	11.06.1977	0,018	16,6	0,3	0,67	20	1260	НС	ЛД
117	69,49	40,34	13.06.1977	0,017	2,4	0,1	0,80	1,9	260	НС	ЛД
118	69,1	39,65	13.06.1977	0,017	2,2	0,1	0,80	1,73	150	НС	ЛД
119	68,77	39,76	11.06.1977	0,025	12,5	0,2	1,20	15	360	НС	ЛД
120	67,9	39,52	21.06.1977	0,070	51,2	1,0	2,57	166	150	ГК	БС
121	71,55	37,97	28.05.1977		4,0	1,0		20	390	ГК	БС
122	70,6	40,08	09.05.1977		8,0	1,0		40	70	ГК	ЛД
123	71,6	37,53	22.06.1977	0,150	41,3	6,0	3,68	140	300	ГК	ПО
124	69,08	39,44	26.05.1977			5,0		120	210	ГК	ЛД
125	67,62	39,56	26.05.1977					9	210	Г	ЛД
126	67,62	39,56	29.05.1977					160	360	Г	ЛД
127	67,69	39,55	29.05.1977					70		Г	ЛД
128	67,74	39,56	29.05.1977					40	80	Г	ЛД
129	67,71	39,6	29.05.1977	0,080	70,1	1,0	3,84	248		ГК	ЛД
130	69,4	40,26	12.05.1978	0,020	2,3	0,2	1,11	3,05	270	НС	ЛД
131	69,16	40,1	12.05.1978	0,020	3,9	0,2	0,85	5	150	НС	ЛД
132	68,93	39,86	12.05.1978	0,018	1,8	0,2	0,66	1,8	240	НС	ЛД
133	69,06	39,81	12.05.1978	0,018	3,3	0,2	1,06	4,85	180	НС	ЛД
134	69,15	39,85	12.05.1978	0,020	1,5	0,1	0,67	1,96	240	НС	ЛД
135	69,06	39,81	12.05.1978	0,020	2,8	0,2		3,72	240	НС	ЛД
136	69,26	39,73	22.05.1978	0,014	4,2	0,2	0,75	5,2	180	НС	ЛД
137	69,05	39,78	22.05.1978	0,031	5,3	0,2		8	180	НС	ЛД
138	69,06	39,81	22.05.1978	0,015	15,6	0,2	2,16	34,6	60	НС	ЛД
139	69,26	39,73	22.05.1978	0,040	7,6	0,2		15	180	НС	ЛД

140	69,13	39,91	22.05.1978	0,028	4,1	0,2		6,4	180	нс	лд
141	69,17	39,93	22.05.1978	0,018	17,1	0,1	0,95	17,6	165	нс	лд
142	69,23	39,93	22.05.1978	0,015	7,5	0,2	0,90	10	165	нс	лд
143	69,13	39,89	22.05.1978	0,018	5,0	0,1	0,90	6	180	нс	лд
144	69,26	39,73	24.05.1978	0,018	2,5	0,2		3	330	нс	од
145	69,06	39,96	24.05.1978	0,021	2,5	0,2		2,46	420	нс	од
146	69,13	40,13	24.05.1978	0,015	1,5	0,1	0,53	1,96	750	нс	од
147	69,22	40,08	24.05.1978	0,018	2,3	0,2	1,34	3,2	960	нс	од
148	69,08	39,93	24.05.1978	0,032	3,7	0,2		5,6	300	нс	од
149	69,13	39,95	24.05.1978	0,018	6,8	0,1	1,03	7	300	нс	од
150	68,95	39,73	24.05.1978	0,022	3,9	0,2	1,32	5,5	300	нс	од
151	70,87	40,2	24.05.1978	0,016	2,7	0,1	0,99	3	390	нс	од
152	68,55	39,41	19.06.1978	0,260	14,8	1,0	4,65	59,6	180	гк	лд
153	68,86	38,85	11.05.1978	0,056	19,0	2,0	2,60	31	30	гк	лд
154	69,4	38,6	24.05.1978		40,8	0,2		95,6	1020	гк	од
155	69,18	39,94	18.04.1979	0,020	2,3	0,3	1,52	3,05	360	нс	од
156	69,12	40,03	18.04.1979	0,018	2,3	0,3	1,63	3,2	360	нс	од
157	69,28	39,98	18.04.1979	0,095	1,1	0,3	1,46	1,5	360	нс	од
158	69,08	40,09	11.05.1979	0,018	0,8	0,1	0,72	0,83	180	нс	од
159	69,25	40,14	11.05.1979	0,014	4,2	0,1	0,90	5,2	180	нс	од
160	68,98	40,01	11.05.1979	0,018	4,9	0,2	1,06	5,85	120	нс	од
161	69,12	39,92	07.06.1979	0,018	7,5	0,2	1,33	10	190	нс	од
162	69,28	39,97	07.06.1979	0,020	5,3	0,3	1,62	8	190	нс	од
163	69,17	40,16	08.06.1979	0,022	8,2	0,8		14,3	230	нс	лд
164	69,13	40,03	08.06.1979	0,015	7,6	0,7	2,55	15	230	нс	од
165	70,82	38,46	19.05.1979	0,020		0,5			900	гк	лд
166	70,82	38,46	21.05.1979	0,020		1,0			240	гк	од
167	68,33	39,08	07.06.1979	0,220	16,2	1,5	3,35		210	г	лд
168	68,38	39,1	10.06.1979	0,130	21,2	1,5	2,85		1140	г	лд
169	70,29	38,87	11.06.1980	0,069	56,8	0,3		198	240	нс	лд
170	68,82	38,74	12.06.1980	0,067	24,5	0,9		87,4	25	нс	снеготаяние
171	68,77	38,79	12.06.1980	0,051	4,5			11,4		нс	лд
172	68,81	38,67	12.06.1980	0,052	4,7			12,4	15	нс	лд
173	70,46	38,69	04.04.1980	0,146	68,2	0,2	3,14		60	нс	лд
174	70,3	38,93	25.05.1982	0,041	52,9	1,5	2,56	133	180	нс	л
175	70,29	38,87	26.05.1982	0,065	80,7			265	730	нс	л

176	70,08	38,82	26.05.1982	0,054	61,2	1,5	3,22	189	75	НС	Л
177	69,78	38,79	04.05.1981	0,050	16,6	0,9	1,85	3,2	15	Г	Л
178	68,52	38,67	29.06.1981	0,156	7,7	0,9	2,62		9		ПО
179	69,79	38,76	04.05.1981	0,021	2,6	0,8	1,17	3,55	20	Г	Л
180	68,51	38,64	04.05.1981	0,009	42,1	0,4	1,78	29,5	20	НС	ЛД
181	69,24	38,69	07.05.1981	0,172	29,4	1,9	5,22	128	30	ГК	ПО
182	69,26	38,7	07.05.1981	0,205	11,4	1,6	3,88	39,7	30	ГК	ПО
183	68,52	38,67	29.06.1981	0,156	7,7	0,9	2,62	20,2	5	ГК	ПО
184	69,24	38,69	23.07.1981	0,104	46,9	3,0	2,50	97,9		ГК	Л
185	70,15	38,36	05.04.1983	0,025	54,8	0,5	2,13	160		НС	ЛД