

На правах рукописи

Черноморец Сергей Семенович

**Особенности морфолитодинамики селевых очагов
Центрального Кавказа после катастрофических селей**

Специальность 25.00.25 - геоморфология и эволюционная география

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва, 2003 г.

Работа выполнена в Университетском центре инженерной геодинамики и мониторинга

Научный руководитель: доктор географических наук,
профессор Ю.Г. Симонов

Официальные оппоненты: доктор географических наук,
профессор А.А. Лукашов

кандидат географических наук
Н.К. Кононова

Ведущая организация: Северо-Кавказский институт по проектированию
водохозяйственного и мелиоративного
строительства «Севкавгипроводхоз» (Пятигорск)

Защита состоится 27 ноября 2003 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета по геоморфологии и эволюционной географии, гляциологии и криологии Земли, картографии и геоинформатике (Д-501.001.61) в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу:

119992, Москва, ГСП-2, Ленинские горы, МГУ, Географический факультет, ауд. 2109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Географического факультета МГУ по адресу: 119992, Москва, Ленинские горы, Главное здание МГУ, 21 этаж.

Автореферат разослан октября 2003 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим отправлять по адресу: 119992, Москва, ГСП-2, Ленинские горы, МГУ, Географический факультет, ученому секретарю диссертационного совета Д-501.001.61.
Факс: (095) 932-88-36. E-mail: geocso@geogr.msu.ru

Ученый секретарь
Диссертационного Совета
профессор

Ю.Ф. Книжников

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Катастрофические сели на Центральном Кавказе изучаются со второй половины XIX века. Проблема природных катастроф, одним из главных типов которых были селевые потоки, появилась с началом прокладки коммуникационных путей в высокогорье, связывавших Россию с Закавказьем. Последующее освоение горных территорий привело к увеличению зависимости хозяйства от опасных экзогенных процессов и необходимости учета их при размещении дорог, жилья и других объектов.

Ущерб от катастрофических селей на Центральном Кавказе значителен. Селевые потоки приводят к жертвам среди населения, гибели скота, разрушению строений и сооружений, затрудняют транспортное сообщение. Катастрофические сели служат причинами радикальных изменений геоморфологического строения горных долин. Наибольшей активностью отличается морфолитодинамика в селевых очагах, где перемещения масс вещества очень велики. Зарождение селевых катастроф обычно начинается от ледников и прилегающих к ним массивов мертвых льдов.

Накоплен значительный опыт исследований, особенно в области выявления параметров сошедших селей и мероприятий по защите от них. Однако, как правило, исследования проводятся по следам только что прошедших селевых потоков, причем в большинстве случаев ограничиваются выявлением причин селя и объемов выноса. Почти всегда остается за рамками исследований предкатастрофическая и послекатастрофическая динамика селевых очагов. Это приводит к тому, что подготовка к следующей катастрофе не изучается, и она снова происходит “внезапно”. Представляется важным изучить данную проблему, оценить изменения очагов в периоды подготовки катастрофы и послеселевой динамики, чтобы последующее прогнозирование селей и разработка противоселевых мероприятий могли опираться на надежные данные.

Цель и задачи исследования. Общая цель заключается в оценке динамики селевых очагов при селевых катастрофах, а также после катастроф и между ними.

Для достижения поставленной цели, было необходимо решить следующие задачи: 1) исследовать последствия селевых катастроф и процессов, происходящих в селевых очагах после них, 2) разработать систему понятий, характеризующих селевые объекты, и методику исследования, 3) подготовить и провести мониторинг селевых очагов, 4) провести расчеты, 5) выявить признаки потенциально опасных процессов, где селевая катастрофа может произойти в будущем.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- 1) разработана концепция цикла катастрофического селеформирования;
- 2) проведена оценка селевых катастроф в нескольких бассейнах, а также динамика условий селеобразования на стадиях эпикатастрофической адаптации, межкатастрофической эволюции и предкатастрофической подготовки;
- 3) усовершенствована система понятий, характеризующих катастрофические сели, селевые очаги и объемы перемещенных масс;
- 4) применен комплекс методов мониторинга селевых объектов, наряду с традиционными элементами включающий полевое картографирование с помощью спутникового позиционирования, использование космических материалов, наблюдения селевых процессов в реальном времени;
- 5) разработана структура деления селевых объектов на литодинамические зоны в соответствии с изменениями бюджета наносов;
- 6) разработан способ расчетов объема селевой массы, прошедшего через каждое сечение русла в течение всего селя; проведена оценка объемов селей на разных стадиях цикла, а также интегральной селеактивности;
- 7) впервые выявлены особенности геоморфологического строения и динамики новых географических объектов – не существовавших до недавнего времени селеопасных озер.

Защищаемые положения.

1. Цикл катастрофического селеформирования состоит из 4 стадий – предкатастрофической подготовки, селевой катастрофы, эпикатастрофической адаптации и межкатастрофической эволюции. Значительная часть материала перемещается не только в процессе самой катастрофы, а в период подготовки и в первые годы после схода катастрофического селя.

2. На стадии эпикатастрофической адаптации происходят преобразования очагов, при которых объем перемещенного материала лишь в несколько раз меньше, чем в период катастрофы. Основные процессы на этой стадии – деградация ледово-каменных массивов, отступление бортов селевых врезов, микросели и лимногенез.

3. Стадия межкатастрофической эволюции характеризуется исчезновением массивов льда, участвующих в селеобразовании, и выполаживанием поперечного профиля.

4. Особым типом катастрофических потоков являются ледово-водно-каменные сели Уаскаранско-Казбекского типа, объемы и динамика которых существенно отличается

от «обычных» селей.

5. Предкатастрофическая подготовка на современной стадии деградации ледников происходит при отделении массивов мертвого льда с образованием озерных котловин и озеровидных площадок, на которых накапливается водная составляющая будущих селей.

6. Катастрофические сели на Центральном Кавказе являются одним из главных агентов денудации и приводят к кардинальным изменениям в морфологии днищ горных долин. Объем катастрофических селей в Кабардино-Балкарии доходит до 6 млн. м³, а ледово-водно-каменных селей в Осетии – превышает 120 млн. м³.

Виды работ и использованные материалы. Начиная с 1987 г., автор участвовал в маршрутных и стационарных исследованиях селевых очагов в различных районах Кавказа и других регионах. Проводились полевые работы. В режиме мониторинга сделаны съемки и измерения, характеризующие объекты, где происходили селевые катастрофы. Применялось дешифрирование дистанционных материалов, в том числе результатов цифровой аэросъемки и космических снимков.

В связи с необходимостью показать изменения селевых очагов в их многообразии, в работе приведено значительное количество повторных снимков, выполненных с закрепленных на местности точек в различные периоды цикла катастрофического селеформирования. Для наземных съемок применялись фотокамера, цифровая камера, фототеодолит. Геодезические работы выполнялись теодолитом. В полевых работах использовались приемники GPS в сочетании с портативным компьютером. Для обработки применялась компьютерная техника и программы Adobe Acrobat, Adobe Photoshop, ArcPad, ArcView 3.1, CorelDraw, Erdas Imagine 8.1, Microsoft ActiveSync.

Практическая значимость. Автор участвовал в обследовании очагов зарождения селей в ходе ликвидации последствий селевой катастрофы в г. Тырнаузе (2000 г.) по согласованию с МЧС РФ. Материалы, положенные в основу диссертации, использовались для выработки рекомендаций по подготовке и проведению мониторинга селевых очагов, при проектировании мероприятий по инженерной защите от селей и в ходе ликвидации последствий катастроф на Центральном Кавказе.

Апробация работы. Основные положения диссертации были доложены на конференциях и совещаниях: 3-м Совещании по проблемам неблагоприятный и опасных явлений (1988), конференции ЦНИИС «Эффективности и качеству исследований - мировой уровень» (1989), V Научно-практической конференции «Инженерные изыскания в области вечной мерзлоты» (1989), Техническом совете института

«Сибгипротранс» (Акт о внедрении от 23.01.1990), Всесоюзной конференции «Экзогенный морфогенез в различных типах природной среды» (1990), Всесоюзном совещании «Новые методы и технологии в геоморфологии для решения геоэкологических задач» (1991), международных конференциях «Устойчивое развитие горных территорий» (2001), «Состояние и развитие горных систем» (2002), «Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты» (2002), симпозиуме "Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата" (2002), Всероссийской конференции по селям (2002), научно-практических конференциях «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (2002, 2003), семинаре кафедры геоморфологии Географического факультета МГУ (2002), совещании «Неблагоприятные и опасные природные явления: теория, география, практика» (2003) и др.

Результаты исследований изложены в 22 публикациях (из них 5 написаны лично автором и 17 в соавторстве). Написаны также 8 рукописей (научные отчеты). Материалы диссертации нашли отражение в проекте РФФИ 03-05-64792. Изучению селевых явлений на Кавказе была также посвящена дипломная работа автора, защищенная в 1988 г. под руководством Ю.Г. Симонова.

Объём и структура работы. Работа состоит из Введения, 7 глав, Заключения, 1 графического приложения. Объем диссертации 227 страниц, в том числе 69 рисунков, 13 таблиц. Список литературы включает 283 названия.

В период работы над проблемами, рассматриваемыми в диссертации, автор сотрудничал с рядом организаций и учреждений, среди которых хотелось бы отметить Географический и Геологический факультеты МГУ, НПЦ «Аэроизыскания», ВГИ, «Каббалкгеомониторинг», ВСЕГИНГЕО, другие организации Министерства природных ресурсов, МЧС, научные учреждения и органы власти Кабардино-Балкарии, Северной Осетии и Ставропольского края, а также NASA.

Автор выражает свою искреннюю признательность всем, кто помогал в период работы. Хотелось бы поблагодарить соавторов, совместно с которыми проводился сбор полевых данных и картографирование селевых объектов – к.г.н. А.А. Алейникова, д.г.н. В.Н. Голосова, П.Г. Журавлеву, И.В. Крыленко, Д.А. Парамонова, к.г.н. Д.А. Петракова, к.г.н. В.В. Поповнина, к.г.н. И.Б. Сейнову, Ph.D. О.В. Тутубалину. Помощь в обсуждении результатов оказывали также другие специалисты, работавшие вместе с автором в экспедициях. На всех этапах автор ощущал поддержку и помощь научного руководителя и учителя – академика РАЕН, д.г.н., профессора Ю.Г. Симонова.

Глава 1. Состояние вопроса, основные понятия и термины

Селями в России и странах бывшего СССР называют быстрые грязевые или грязекаменные потоки, внезапно возникающие главным образом в руслах горных рек в результате резкого паводка, вызванного интенсивными ливнями или интенсивным снеготаянием в условиях накопления большого количества продуктов выветривания на склонах (Щукин, 1980). В англоязычной литературе отсутствует единое понятие, аналогичное слову «сель». Используются термины «mudflow» (грязевый сель) и «debris flow» (грязекаменный или наносоводный сель) и близкое понятие «debris avalanche» (грязекаменная лавина).

Для понятия «селевой очаг» имеются различные варианты определения. Под селевыми очагами в настоящем исследовании понимаются все участки, поставляющие твердый материал в селевой поток или способные служить источником подпитки в будущем, находящиеся как в зоне зарождения, так и ниже по течению. Как очаги зарождения селей, так и очаги твердого питания для краткости называются единым наименованием «селевой очаг».

Селевыми бассейнами называют бассейны, в которых формируются или могут формироваться селевые потоки. При использовании понятия «селевой бассейн» нередко возникают трудности. Необходимо указывать, какой критерий используется для выделения его границ: водосбор селевого очага; водосбор бассейна данного порядка; водосбор замыкающего створа, при котором сель переходит в наносоводный паводок.

Можно, видимо, говорить о трех преобладающих типах систем селевых очагов Северного Кавказа: Западно-Кавказском, Центральном-Кавказском и Восточно-Кавказском. На Западном Кавказе преобладают изолированные очаги, на Восточном Кавказе большинство долин имеет следы селевого режима. Центральный Кавказ занимает промежуточное положение: здесь встречаются как изолированные очаги, так и их системы.

Известно, что в селевом бассейне имеются зоны зарождения, транзита и аккумуляции селевого материала. Однако критерии разделения на зоны, анализ их сочетаний в разных бассейнах пока не служили предметом рассмотрения. В качестве количественного параметра разграничения зон можно использовать литодинамический критерий - величину бюджета наносов в створе русла.

Следует различать три вида показателей, называемых объемом селевой массы: $\Sigma W_{\text{полн}}$ - суммарный объем материала, вовлеченного в поток, ΣW - суммарный объем

твердой фазы материала, вовлеченного в поток, W - объем твердой фазы, прошедший через данный створ (сечение русла) в течение всего селя.

Объем, прошедший через створ в течение всего селя (W , м³) является вспомогательным параметром, необходимым для дальнейших расчетов полного объема массы, вовлеченной в поток. Суммарный объем твердой фазы отложений, вовлеченных в поток (ΣW), как правило, можно определить натурными измерениями после селя в различных створах. Показатели $\Sigma W_{\text{полн}}$ и ΣW связаны соотношением: $\Sigma W_{\text{полн}} = \Sigma W/\alpha$, где α – доля горной породы в селевой массе. В общем случае суммарный объем ΣW , м³ равен: $\Sigma W = \iint dV \cdot dH \cdot dL$, где L - длина, V - ширина участка, H - мощность селевых отложений.

Объем наносов в створе не служит его исчерпывающей характеристикой. Обозначим два соотношения: $W' = dW/dL$ - приращение объема по длине и W'/W - его удельное приращение. Приращение объема по длине W' характеризует интенсивность денудационно-аккумулятивного процесса. Удельное приращение объема по длине может быть записано в виде: $W'/W = dW/WdL$.

В зависимости от бюджета селевой массы, русло можно делить на литодинамические зоны: преимущественно денудационную (Д), транзитно-денудационную (ТД), преимущественно транзитную (Т), транзитно-аккумулятивную (ТА) и преимущественно аккумулятивную (А). Критерием разграничения литодинамических зон служит резкое изменение приращения объема по длине русла W' . Соотношение зон является своеобразным геоморфологическим «паспортом» бассейна.

Понятия «катастрофический сель» пока не закреплено в нормативных документах. В данной работе к катастрофическим селям на Центральном Кавказе отнесены потоки объемом не менее 1 млн. м³, сопровождавшиеся экономическим ущербом или человеческими жертвами. Поскольку опыт показывает, что катастрофы происходят повторно в одних и тех же бассейнах, важно сформулировать положения об основных стадиях развития катастрофического процесса в виде представления об особом «цикле катастрофического селеформирования». Цикл катастрофического селеформирования – период, включающий подготовку катастрофы и потерю устойчивости, действие «спускового механизма», катастрофическое развитие селевого процесса, последующую послекатастрофическую переработку и относительно спокойный длительный период эволюционного развития, протекающий без потери устойчивости геоморфологической системы. Наши исследования показывают, что цикл состоит из ряда стадий, которые можно назвать следующими терминами: 1) стадия предкатастрофической

подготовки, 2) стадия селевой катастрофы, 3) стадия эпикастрофической адаптации (от греческого *epi* – на, над, сверх, при, после), 4) стадия межкатастрофической эволюции.

В подготовленном бассейне катастрофическое развитие событий происходит после небольшого процесса, являющегося начальным импульсом катастрофы. Отношение полного объема катастрофического селя к объему материала, вызвавшего начальный импульс, названо нами коэффициентом мультипликативности селевой катастрофы. Этот показатель служит характеристикой трансформации вещества при катастрофическом процессе.

Для оценки величины денудации, осуществленной селевыми потоками, необходимо ввести специальный показатель. Интегральная селеактивность I – величина среднего условного слоя вещества, перемещенного селями в единицу времени (мм/год): $I = \int W_{\text{полн}} \cdot 10^3 / (F \cdot T)$, где $\int W_{\text{полн}}$ – суммарный объем селевых выносов за рассматриваемый период, млн. м³, F – площадь территории, км², T – время, лет.

Повторное вовлечение части отложений предыдущих селей в новые потоки можно назвать «регенерацией селевой массы». Целесообразно ввести специальный параметр – коэффициент регенерации селевой массы, представляющий собой долю твердой фазы селевого материала, повторно вовлекаемого в селевой процесс новым селем, в объеме твердой фазы этого нового селя.

Глава 2. Изученность селей и селевых катастроф

Катастрофические сели характерны для большинства горных районов мира, освоенных человеком. Они приводили к жертвам и разрушениям в Альпах, горах Центральной Азии, Гималаях, Андах, на западе Северной Америки и в других регионах.

Центральный Кавказ включает в себя часть горной области Большого Кавказа, ограниченной поперечными сечениями через Эльбрус и Казбек. Российская часть Центрального Кавказа относится к территориям Кабардино-Балкарии и Северной Осетии.

Селевые потоки на Центральном Кавказе изучаются со второй половины XIX века. Накоплен значительный опыт исследований, особенно в области выявления параметров сошедших селей и мероприятий по защите от них. В истории исследования селей Центрального Кавказа можно выделить 2 периода – этап эпизодических исследований с середины XIX до середины XX века, и современный этап систематических исследований. Изучение селевых явлений в России началось с Казбекских завалов, которые обследовались Б.И. Статковским и другими исследователями.

Этап систематических исследований начался с середины XX века. Заметные импульсы исследованиям дали Международный геофизический год 1957-1959 гг. и Тырныаузские катастрофы 1960-1962 гг. В период с 1983 по 1999 гг. количество полевых исследований селевой опасности уменьшилось. Работы, выходявшие в эти годы, преимущественно отражали ранее накопленный материал.

В Кабардино-Балкарии зафиксированы сели объемом более 1 млн. м³ в бассейнах рек Малка, Чегем, Черек, Баксан. О селях Центрального Кавказа написан ряд сводных работ и монографий, составлены библиографические сводки. Эволюция оледенения и селевой активности рассматривалась в книге И.Б. Сейновой и Е.А. Золотарева (2001).

В бассейне Баксана катастрофическими были крупные сели в долинах Герхожан-Су, Джаловчат, Куллумкол-Су, Адыл-Су. В Осетии неоднократные селевые катастрофы происходили в бассейне р. Геналдон после значительных обвалов ледово-каменных масс. Перечисленные 5 участков были выбраны для детальных исследований селевых очагов.

Глава 3. Морфолитодинамика селевых очагов после Герхожанской катастрофы 2000 года

Долина реки Герхожан-Су является одним из наиболее изученных селевых объектов в России. Река впадает в р. Баксан в черте г. Тырныауза, на территории которого разрушительные селевые потоки отмечались в 1937, 1960, 1961, 1962, 1977, 1999 и 2000 годах. Сели 18-25 июля 2000 г. оказались наиболее катастрофическими за всю историю Тырныауза. Погибло 8 человек, разрушено несколько многоквартирных домов.

Бассейн р. Герхожан-Су занимает площадь 72 км². Герхожан-Су образуется при слиянии двух составляющих – Каяарты-Су и Сакашили-Су. Ледники обеих долин деградируют. Почти все сели, достигавшие города, зарождались в верховьях Каяарты-Су.

В долине р. Герхожан-Су нами проводились полевые исследования с 1998 г. В 2000 г. автор находился в г. Тырныаузе во время последней волны с 24 на 25 июля. Созданная в 2000-2002 гг. сеть мониторинга включает поперечные профили селевого русла и прилегающих к нему бортов, базисы фототеодолитной съемки, базисы цифровой стереосъемки, точки повторной фотосъемки, площадки для изучения криогенных процессов, футшток для измерения уровня озера и временный метеорологический пост. Положение точек мониторинга показано на «Карте точек мониторинга селевых очагов (бассейн Герхожан-Су)» (Приложение 2). Составлены карты очагов зарождения селей в верховьях р. Каяарты-Су.

Предкатастрофическая подготовка очагов происходила при отступании ледников

и образовании значительных площадей, занятых массивами мертвых льдов и льдистых грунтов. Нарушение сплошности массивов произошло в ходе селя 1999 г. В отличие от ранее проходивших селей, в 2000 г. произошло катастрофическое врезание русла и перестройка литодинамических зон. Способ расчетов объема селевой массы, прошедшего через каждое сечение русла, реконструированная последовательность литодинамических зон и результаты расчета для селей 2000 г. в долине Герхожан-Су показаны на рис. 1. Объем выноса твердого материала в 2000 г. оценен более чем в 3,1 млн.м³, общий объем селевой массы - примерно в 6 млн. м³.

Стадия эпикатастрофической адаптации началась сразу после катастрофических селей и отличалась очень высокой интенсивностью переработки очагов. Основные процессы, происходившие в очагах на этой стадии – гравитационные перемещения материала с бортов нового вреза, разрушение обвалившихся масс, склоновые и русловые микросели. При впадении Герхожан-Су в Баксан образовалось подпрудное эпикатастрофическое озеро площадью 0,55 км², подтопившее центральную часть г. Тырнауза. Интенсивная эпикатастрофическая переработка очагов происходила в два этапа – до начала сентября 2000 г. и с начала июля до конца августа 2001 г. Зафиксировано формирование ежедневных микроселей. Отступление бровок селевого каньона достигало 12 м на поперечных профилях и превысило 20-25 м на участках развития новых термоцирков. Объем материала, вынесенного из селевого каньона в сентябре 2000 - августе 2001 гг., составил 0,17 млн. м³.

Вопреки сложившимся представлениям о селе как о редком процессе, нами установлено, что небольшие сели на эпикатастрофической стадии в очагах являются нормальным ежедневным механизмом перемещения наносов. Селевая масса отлагается на поле аккумуляции ниже каньона, и без непосредственных наблюдений за очагами может сложиться впечатление, что селевая деятельность в бассейне отсутствует.

После разрушения массивов льдистых грунтов в днище каньона произошел переход к стадии межкатастрофической эволюции, что подтверждается отсутствием значительных изменений в очагах в течение последующего 2002 года. В будущем в приледниковой зоне возможен частичный перехват стока и дальнейшая перестройка литодинамических зон.

По размерам ущерба, долина р. Герхожан-Су является самым значительным селевым объектом в Кабардино-Балкарии. В долине можно наблюдать катастрофические

изменения в рельефе, происходящие в течение очень короткого времени, и процессы,

ведущие к частичному восстановлению равновесия после катастрофы.

Глава 4. Селевые очаги на стадии межкатастрофической эволюции

Стадия межкатастрофической эволюции охватывает период, когда на смену интенсивной переработке форм, образовавшихся в результате катастрофы, приходит медленное эволюционное развитие. Если исследование селевых объектов происходит в этот период, его обычно называют изучением условий формирования селей. Динамика системы очагов в период спокойного развития, как правило, не рассматривается как этап между катастрофами. Между тем, поведение очагов в межкатастрофическую стадию имеет самостоятельное значение и заслуживает, по-видимому, отдельного исследования. В пределах водосбора р. Баксан имеются два бассейна, в которых произошли селевые катастрофы в недавнем прошлом. Селем из балки Джаловчат были разрушены альплагеря «Сталь и «Молния», а сель по р. Куллумкол-Су уничтожил альплагерь «Джайлык».

Ручей Джаловчат является левым притоком р. Адыр-Су. Катастрофический сель 1-3 августа 1940 г. продолжительностью около 60 часов зародился у края безымянного карово-долинного ледника. Образовался крупный врез, имевший после катастрофы глубину 60-80 м и крутизну склонов до 80⁰. Перед селем отмечались высокие температуры воздуха и интенсивное таяние ледников.

Наше исследование долины проведено через 62 года после катастрофы. Деградация оледенения привела к удалению конца ледника от очага 1940 г. на 650 м. Произошло расширение бортов вреза, уменьшение крутизны склонов на многих участках до 30-35⁰. Быстрое осыпание на склонах сменилось относительно медленной дефлюкцией. Считалось, что объем выноса селя достигал 3 млн. м³, что до 2000 г. было наивысшим значением объема селей в бассейне р. Баксан. По-видимому, такая интерпретация расчетов П.В. Ковалева не учитывает объем балки, существовавший ранее, и объем выноса в 1940 г. вряд ли превышал 2 млн. м³. В ходе селя происходило подпруживание р. Адыр-Су, кратковременное накопление воды перед селевой плотиной и формирование нового селя по основной реке. В главе показано, что в настоящее время нет признаков перехода Джаловчатского очага к стадии новой предкатастрофической подготовки. Следует обратить внимание на долину левой составляющей руч. Джаловчат, строение которой позволяет прогнозировать образование нового значительного вреза.

Сели в долине р. Куллумкол-Су зарождаются на склоне морены ледника Зап. Тютю. В 1983 г. в период предкатастрофической подготовки, по-видимому, происходило накопление воды в насыщенной льдом морене, нарушение сплошности и потеря

устойчивости. После длительной жаркой погоды прошел ливень, спровоцировавший начало селя. В течение 6,5 часов сошли 6 селевых волн, последняя из которых завершила разрушение лагеря. Благодаря своевременному оповещению, никто не погиб.

Литодинамическая структура селевого русла 1983 г. включает денудационную, транзитно-аккумулятивную, транзитно-денудационную и аккумулятивную зоны. Дезинтеграция массивов погребенного льда привела к лавинообразному разрушению морены и образованию нового очага в месте, где ранее врез отсутствовал. Стадия эпикатастрофической адаптации завершилась в 1986 г. В результате вытаивания мертвых льдов, исток реки выше очага 1983 г. оказался перехваченным. Поэтому новые катастрофические сели по тому же врезу представляются невозможными.

Глава 5. Геналдонская гляциальная катастрофа и начало стадии эпикатастрофической адаптации

На основании результатов исследований, проведенных с привлечением всех имеющихся данных, восстановлен ход событий гляциальной катастрофы 20 сентября 2002 г. в долине р. Геналдон (Северная Осетия), повлекшей жертвы и разрушения.

Верховья р. Геналдон расположены в пределах Казбекско-Джимарайского горного массива. Катастрофические события, подобные ситуации 2002 г., происходили здесь и ранее в 1835 и 1902 гг. В 1969-1970 гг. наблюдалась подвижка ледника Колка.

По результатам полевых работ 2001 и 2002 гг., выделены 4 основных этапа катастрофы 2002 г.: ледовый обвал со склонов г. Джимарай-хох и удар в тыловую часть ледника Колка, начальное движение части ледника вниз по долине, ледово-водно-каменный поток и грязекаменный селя. В ходе движения селя, происходившего в полосе шириной 400-500 м, высота волн достигала 100-150 м. Ледово-водно-каменная масса прошла 19 км до удара о Скалистый хребет. Движение часто происходило вдоль склона с набором, а не уменьшением высоты. Скорость потока, по некоторым данным, достигала 180 км/ч. После остановки ледовой массы, грязекаменный селя прошел еще 17 км.

Площадь аккумулятивного ледового тела в районе Кармадонских ворот составила 2,1 км², длина 3,6 км, а толщина достигала 135-140 м при средних значениях около 60 м. Рассчитанное нами значение объема ледового тела составляет около 115 млн. м³. Погрешность определения объема мы оцениваем как ± 10 млн. м³. Объем селевых отложений составил около 3-5 млн. м³.

Общая площадь зоны поражения составила 15,7 км², а суммарный объем материала, вовлеченного в движение при катастрофе, можно оценить в 130-140 млн. м³.

После катастрофы образовались 13 новых временных озер, площадь которых к 6 октября достигла 437 тыс. м². Оценена динамика эпикатастрофического лимногенеза. Изменения Санибанского озера и Генальских озер показаны на рис. 2. Накопление основной массы воды произошло в результате прорывного селя 22 сентября, когда две улицы с. Горная Саниба ушли под воду. За месяц в Санибанском озере накопилось не менее 3 млн. м³ воды при максимальной глубине более 40 м. К северу от озера под правым бортом долины образовалась Генальская группа из трех озер. Воды Санибанского озера через слившиеся Генальские озера стали уходить в полости ледового тела.

Высказывались различные гипотезы о причинах катастрофы. По мнению автора, локализация событий вблизи вулкана Казбек и периодическое повторение гляциальных событий схожего генезиса на его периферии говорят в пользу предположения о разогреве ледникового ложа тепловым потоком.

Геналдонская гляциальная катастрофа 2002 года относится к событиям мирового значения. Долине, равной бассейну р. Геналдон по объемам единовременно перемещенного селями материала, в российской части Кавказа не существует. Выявлено разнообразие точек зрения на природу явления и термины, которыми его описывают различные авторы. По нашему мнению, в 2002 г. произошла последовательная смена нескольких процессов, относящихся к различным видам движения и имеющих разные названия. Вероятно, следует выделить подобные события в особый тип природных явлений – катастрофические ледово-водно-каменные сели Уаскаранско-Казбекского типа.

Глава 6. Селевые очаги с признаками предкатастрофической подготовки

Предсказать место будущей селевой катастрофы удается редко, и сбывшихся прогнозов локализации катастрофических селей имеется немного. Тем не менее, обобщение материалов по поведению очагов на разных стадиях катастрофического цикла селеформирования должно быть направлено на подготовку к выявлению очагов, где катастрофа может случиться в ближайшем будущем. Один из потенциально опасных очагов находится в верховьях долины Адыл-Су – притока р. Баксан. Здесь находится известное озеро Башкара. В 1958 и 1959 гг. зафиксированы его прорывы. В конце 1980-х годов у ледника Башкара появились объекты, ранее не существовавшие: при отступании ледника образовалась группа новых моренных озер. Об их наличии и возможности прорыва неизвестно людям, находящимся в зоне опасности. Ни описания новых озер, ни оценка опасности прорыва до автора не исследовались.

Новые озера пока не отмечены на официальных картах и не имеют общепринятых

названий. Начиная с 1999 г., для обозначения новых озер используются рабочие названия Лапа (восточное) и Мизинчик (западное). Проведены полевые исследования озер в 1990-2002 гг., дешифрирование аэрофотоснимков и космических снимков. Измерены глубины озер, для мониторинга уровня созданы временные футштоки.

Новые озера, почти незаметные в 1990 г., к 2002 г. существенно увеличились в размере. Глубина двух новых озер в 2002 г. достигала 14,0 и 6,9 м, суммарный объем воды в них оценивается в 65,6 тыс. м³. Изучение озер позволило проследить динамику береговой линии в последние годы, оценить потенциальную селевую опасность.

Составлена карта новых озер масштаба 1:3000, на которую нанесены очертания берегов и глубины. Площадь новых озер в настоящее время сопоставима с площадью зеркала оз. Башкара перед прорывом в 1958 г. Интенсивная деградация массивов мертвого льда может в ближайшие годы привести к прорыву озерных вод. В результате по р. Адыл-Су может сойти разрушительный сель большой мощности. Не исключено, что в селевом процессе примет участие часть вод озера Башкара, имеющего, по данным наших замеров, глубину не менее 33 м и объем около 780 тыс. м³. Под угрозой находятся туристические стоянки, строения альплагерей и автодорожный мост. В условиях деградации оледенения и роста селевой опасности, имеется возможность заранее подготовиться к изучению механизма прорывных селей.

Глава 7. Анализ полученных результатов

Исследования охватывали участки, где со времени последней катастрофы прошло время от нескольких месяцев до 62 лет. В таблице 1 показаны сводные данные по 5 селевым катастрофам, последствия которых были детально изучены.

Таблица 1. Сводные данные по пяти селевым катастрофам

Название катастрофы	Дата	H ₁ м	H ₂ м	H ₃ м	L км	W _{полн} млн. м ³	W _{нач} млн. м ³	M
Джаловчатская	1-3.08.1940	3929	2690	2690	3,4	2-2,5	нет данных	-
Башкаринская	5.08.1959	4302	2610	2480	4-6	1	0,06	17
Куллумкольская	19.07.1983	4404	3380	3380	2,7	1,2	нет данных	-
Герхожанская	18-25.07.2000	4126	3465	3200	15-16	6	0,02	400
Геналдонская	20.09.2002	4400	4100	3100	36	130-140	3-8	16-47

Обозначения к таблице: высоты H₁ – высшей точки части бассейна, находящейся над очагом, H₂ – точки формирования начального импульса катастрофы, H₃ - точки начала катастрофического развития процесса; L – длина пути материала, вовлеченного в сель (горизонтальное проложение); W_{полн} – оценка объема перемещенного материала; W_{нач} – оценка объема материала, послужившего начальным импульсом катастрофы; M - коэффициент мультипликативности селевой катастрофы.

Для особо выдающейся катастрофы обычно не хватает терминов, чтобы правильно ее назвать. Катастрофа типа Геналдонской представляет собой не просто сель, не просто лавину, не просто обвал, а является каскадной сменой нескольких процессов.

На Центральном Кавказе впервые получены значимые результаты при использовании космических снимков для анализа селевых объектов. Удалось не только выявить следы селевой деятельности, но и оценить ряд количественных параметров – таких, как изменение площади эпикастрофических озер. Получение положительных результатов объясняется несколькими причинами: а) при катастрофе изменения охватывают большие площади, что хорошо видно на космических снимках, б) отсутствие необходимости получать разрешение для съемки, что существенно для приграничной территории Центрального Кавказ, в) меньшие, чем при аэросъемке, искажения за рельеф, г) улучшение качества снимков в последние годы, д) возможность оперативного контроля изменений. Все это позволяет рекомендовать космическую съемку как один из основных методов мониторинга катастрофических селей и их последствий.

Заключение

Динамика процессов в селевых очагах после катастроф до недавнего времени оставалась почти неизученной. Большинство исследований катастрофических селей проводилось в период сразу после схода селей или короткое время спустя. Анализ материалов по селевым катастрофам и их последствиям подтверждает сформулированную в диссертации концепцию циклов катастрофического селеформирования и позволяет прийти к следующим выводам:

1. Исследование понятийно-терминологического аппарата, используемого при изучении селей, показало, что наличие специального термина является существенным элементом для оформления отдельного направления в науке. Концентрация усилий исследователей на изучении явления, называемого в русском языке словом «сель», привела к появлению селеведения. В англоязычных странах селеведение не стало самостоятельным научным направлением, поскольку для обозначения селей используется несколько терминов, и селевые потоки разных типов принято рассматривать в рамках не одной, а нескольких различных дисциплин.

При использовании таких понятий, как «селевой бассейн», возникают сложности в связи с различными способами проведения границ бассейна. При картографировании и изучении расчетных характеристик следует выявлять не столько размеры и площади бассейнов, сколько свойства и взаимное сочетание систем селевых очагов.

2. Разработанный комплекс показателей, характеризующих объем селевой массы и его производные параметры, позволил разграничить различные стороны трансформации селевой массы, произвести разделение русел на литодинамические зоны и составить

схемы зон, являющиеся своеобразным геоморфологическим «паспортом» долины и конкретного селя. Структура литодинамических зон служит основой для методики расчетов бюджета наносов, разработанной с применением предложенных автором показателей. Предложенная методика реконструкции объема твердой фазы, прошедшей через данный створ (сечение русла) в течение всего селя, а также приращения и удельного приращения объема по длине русла, дала возможность восстановить значения объемов на разных участках. Критерием разграничения литодинамических зон служит резкое изменение приращения объема по длине русла.

3. Для анализа закономерностей развития катастрофических селевых процессов предложено понятие цикла катастрофического селеформирования. Он состоит из стадий предкатастрофической подготовки, селевой катастрофы, эпикатастрофической адаптации и межкатастрофической эволюции.

4. Предкатастрофическая подготовка очагов отличается комплексом признаков, выявление которых можно использовать для локального прогноза селевых катастроф. На создание нового очага на нынешней стадии оледенения, когда ледники достаточно быстро отступают, уходит 10-20 лет. Старые очаги активизируются, когда в процессе участвуют каменные глетчеры или оползни, подрезка которых приводит к массовому смещению неустойчивых массивов грунта. Для стадии предкатастрофической подготовки характерны отчленение массивов мертвых льдов от ледников, периодическое протаивание и набухание льдистых грунтов, перекрытие русла небольшими оползнями, появление и разрастание моренных озер.

В подготовленном бассейне катастрофическому развитию селевого процесса предшествует событие небольшой мощности, являющегося начальным импульсом катастрофы. Значение коэффициента мультипликативности в различных долинах меняется от 16 до 400.

5. На стадии селевой катастрофы происходит формирование потока значительной мощности, кардинально преобразующего систему селевых очагов и строение днища долины. Селевые потоки имеют волновой характер. Длительность периода селевых волн, разделенного промежутками наносоводных паводков, иногда достигает 7 дней. Так, весь период 18-25 июля 2000 г. в долине р. Герхожан-Су следует рассматривать не как 4 селя, а как единый катастрофический селевой процесс. При катастрофе происходит смена литодинамических зон и переход рельефа долины в новое состояние, которое затем в течение длительного периода контролирует динамику рельефообразующих процессов.

6. Стадия эпикатастрофической адаптации является очень важным аспектом переработки селевых очагов, который ранее почти не изучался. Основными процессами, проходящими в этот период, являются: 1) выполаживание бортов селевых врезов путем осыпания, образования термоцирков и склоновых микроселей; 2) деградация массивов льдистого грунта, не вынесенных в период катастрофы; 3) русловые микросели; 4) эпикатастрофический лимногенез. Происходит отступление бровок селевых врезов и уменьшение крутизны склонов, примыкающих к селевому руслу.

Наблюдения за развитием микроселей выявили четкий суточный ход этого процесса. Вопреки сложившимся представлениям о селе как редком явлении, на стадии эпикатастрофической адаптации в летний период высоких температур наблюдалось практически ежедневное формирование микроселей в интервале от 12 до 18-19 часов в виде большого числа отдельных волн продолжительностью в 5-20 минут.

Эпикатастрофические озера являются неустойчивыми образованиями, сформировавшимися при перекрытии ранее существовавших путей стока селевыми отложениями или обрушившимся в русло подрезанным склоновым материалом. Часто плотины, удерживающие эпикатастрофические озера, сложены льдистым грунтом и при прорыве становятся источником твердой составляющей новых селей.

Объем перемещенного материала на стадии эпикатастрофической адаптации достаточно велик. Так, из селевого каньона р. Зап. Каяарты-Су за две селевые катастрофы 1999 и 2000 гг. и первые полтора месяца послекатастрофической переработки было вынесено лишь в 3,5 раза больше материала, чем за последующий год эпикатастрофической адаптации. В это время сели не доходили до устья р. Герхожан-Су, и без непосредственного изучения очагов могло сложиться впечатление, что бассейн в данный период находился в спокойном состоянии. Через короткое время остается только результирующее состояние очагов, по которому без исследований на стадии адаптации нельзя судить о механизмах переработки очагов.

7. Стадия межкатастрофической эволюции, наступающая вслед за стадией эпикатастрофической адаптации, отличается собственным набором геоморфологических признаков: 1) Ледники и массивы мертвого льда отступают от очагов, работавших во время катастрофы. 2) Отсутствуют озера, озеровидные зандровые площадки, подледные полости. 3) Крутизна бортов, сформированного при катастрофе, за 2 десятилетия уменьшается с $70-90^0$ до $40-50^0$, а за 6 десятилетий – до $30-35^0$. В бортах отсутствуют выходы погребенного льда. 4) На пути водотоков исчезают массивы, сложенные

льдистыми грунтами и мертвыми льдами, образовавшиеся при катастрофе. 5) Интенсивность экзогенных процессов в селеопасный период значительно уменьшается.

8. Гляциальная катастрофа 2002 г. в Осетии является редким ледово-водно-каменным потоком сложного генезиса, который предлагается рассматривать как селевое явление особого Уаскаранско-Казбекского типа. Такие сели обладают не характерными для других типов селей специфическими особенностями, к которым относятся очень высокие объемы материала, скорости более 180 км/ч, а также возможность движения потока с набором высоты до нескольких десятков метров. Механизмы формирования таких потоков мало изучены, и проведенная реконструкция событий, возможно, поможет исследовать причины и создать модель подобного процесса.

9. Для характеристики селевой деятельности территории может использоваться интегральная селеактивность (I) - величина среднего условного слоя вещества, перемещенного селями в единицу времени. Интегральная селеактивность бассейна р. Герхожан-Су составляет более 2,4 мм/год за 69 лет, бассейна р. Геналдон – 11,9 мм/год за 100 лет. Значения I в бассейнах, где происходили катастрофы, в десятки раз превышают аналогичные значения в районах, где катастроф не было.

Расчеты суммарных характеристик селеактивности территории в будущем должны учитывать регенерацию селевой массы. Количественная оценка регенерации на данном этапе может быть лишь приблизительной в связи с ее малой изученностью. Возможно, в результате натурных экспериментов в будущем удастся установить ее параметры.

10. Применение космических снимков для изучения катастрофических селей показало перспективность использования информации из космоса. В будущем снимки высокого разрешения могут стать основой селевого картографирования и оперативного мониторинга морфолитодинамики очагов.

Перечисленные особенности морфолитодинамики селевых очагов на различных стадиях цикла катастрофического селеформирования характерны для современного периода быстрой деградации оледенения на Кавказе. В случае смены тенденции развития оледенения меняются основные типы механизмов зарождения селей и повторяемость потоков. Если изменения климата в будущем приведут к наступанию ледников, то часть признаков стадий цикла катастрофического селеформирования, по-видимому, изменится. Хотя работа построена на региональном материале, разработанные в ней подходы позволяют исследовать подготовку катастрофических селей, их развитие и адаптацию очагов после катастрофических событий для других горных систем.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Осыпные процессы. - В кн.: Современные экзогенные процессы в предгорьях Западного Тянь-Шаня. М., деп. ВИНТИ № 6388, 1987, с. 40-58 (соавтор В.Н. Голосов).
2. Пространственно-временные закономерности осыпания лессов на овражных склонах. - В кн.: Эрозионно-аккумулятивные процессы: проблемы, задачи, решения. М., деп. ВИНТИ № 8312-В87, с. 68-71 (соавтор В.Н. Голосов).
3. Литодинамическое зонирование селевых бассейнов для оценки селевой опасности. - В кн.: М-лы XXVI Всесоюзной науч.-студ. конф. Новосибирск, 1988, с. 17-22.
4. Детализация структуры селевых бассейнов как основа для реконструкций бюджета наносов при размещении горных дорог. - В кн.: Эффективности и качеству исследований - мировой уровень. Тез. докл. к конф. молодых ученых и специалистов. М., ЦНИИС, 1989, с. 8-9.
5. Дистанционное зондирование экзогенных процессов по трассе железной дороги Уоян-Могзон для обоснования материалов по инженерной защите. - В кн.: Проблемы инженерно-геологических изысканий в криолитозоне. Магадан, Колымское газетное изд-во, 1989, с. 260-261 (соавторы А.П. Бгатов, В.Б. Суворов).
6. Селевые бассейны Карачаево-Черкесской автономной области. - В кн.: Изучение опасных природных явлений: Методика и результаты. М., деп. ВИНТИ № 981-В90, 1990, с. 51-59 (соавтор И.А. Третьяков).
7. Анализ селевой опасности по трассе железной дороги Уоян-Могзон с применением дистанционных материалов. В кн.: Экзогенный морфогенез в различных типах природной среды. М., Изд-во МГУ, 1990, с. 200-201.
8. Расчет объема селевой массы. - Транспортное строительство, 1991, № 11, с. 4-6.
9. Перестройка рельефа в долине Герхожан-Су (Центральный Кавказ) после катастрофических селей 18-25 июля 2000 года. – В кн.: Устойчивое развитие горных территорий: проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Владикавказ, Ремарко, 2001, с.471-472 (соавторы И.В. Крыленко, Д.А. Петраков).
10. Оценка условий формирования селей в бассейне Герхожан-Су и рекомендации по защите города Тырнауза. – В кн.: Устойчивое развитие горных территорий: проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Владикавказ, Ремарко, 2001, с. 469-471 (соавторы И.В. Крыленко, Д.А. Петраков).

11. Геоинформационное картографирование бассейна Герхожан-Су (Центральный Кавказ) для подготовки к мониторингу селевых процессов. – В кн.: Устойчивое развитие горных территорий: проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Владикавказ, Ремакко, 2001, с. 476-477 (соавторы Д.А. Парамонов, О.В. Тутубалина).

12. Морфодинамика горного бассейна после селевой катастрофы. – В кн.: Состояние и развитие горных систем (материалы научной конференции по монтологии). СПб, РГО, 2002, с. 93-99 (соавторы И.В. Крыленко, Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина).

13. Новые селеопасные озера у края ледника Башкара. – В кн.: Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата. Пущино, 2002, с. 13-14 (с О.В. Тутубалиной и А.А. Алейниковым).

14. Динамика бассейна Герхожан-Су после селевой катастрофы 2000 года. – В кн.: Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата. Пущино, 2002, с. 12-13 (соавторы И.В. Крыленко, Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина).

15. О влиянии криогенного фактора на механизм формирования селей – В кн.: Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты. Пущино, 2002, с. 145-146 (соавторы И.В. Крыленко, Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина).

16. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии. – Криосфера Земли, т. VII, № 1, 2003, с. 3-17 (соавторы В.В. Поповнин, Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина).

17. Опасность селя в Адылсу нарастает. – Вольный Ветер, № 57, 2003, с. 3.

18. Новые селеопасные озера у края ледника Башкара на Центральном Кавказе. – МГИ, вып. 95, 2003, с. 153-160 (соавторы О.В. Тутубалина, А.А. Алейников).

19. Ледник Колка и долина реки Геналдон через год после катастрофы. - Всероссийская конф. «Современные геоинформационные системы для предупреждения и ликвидации ЧС. Теория и практика». М., 2003, 1 с. (соавтор О.В. Тутубалина) (CD-ROM).

20. Снимки IRS для мониторинга последствий Геналдонской ледниковой катастрофы. – Информ. бюлл. ГИС-Ассоциации, № 4, 2003, с. 55-57 (соавтор О.В. Тутубалина).

21. Эпикатастрофический лимногенез: Санибанское озеро после Геналдонской катастрофы 2002 года. – Сб. м-лов 3-й науч-практ. конф. «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». М., 2003, с. 95. (соавторы И.В. Крыленко, И.Н. Крыленко).

22. Динамика Башкаринских лимногляциальных селевых очагов. – Сб. м-лов 3-й науч-практ. конф. «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». М., 2003, с. 7.

(соавторы А.А. Алейников, П.Г. Журавлева, И.В. Крыленко, И.Н. Крыленко, О.В. Тутубалина).

Отпечатано в центре «Учебная полиграфия»
119992 г. Москва, Ленинские горы, 1 Гуманитарный корпус,
Научная библиотека МГУ,
Тираж 100 экз. Заказ № 400, 1 печ.л.