

An aerial photograph of a river valley. In the center, a large, rectangular debris dam made of logs and branches blocks the river. The river is filled with a thick, light-colored slurry of mud and debris. To the right of the dam, a steep, grassy hillside has a large section of its topsoil and vegetation that has slid down into the river, creating a turbulent flow. The surrounding hills are covered in dense green forest. The sky is not visible.

С.С. ЧЕРНОМОРЕЦ

**СЕЛЕВЫЕ ОЧАГИ
ДО И ПОСЛЕ
КАТАСТРОФ**

УДК 551.311.21 (234. 9)

ББК 26.823

Ч49

Черноморец С.С.

Ч49 СЕЛЕВЫЕ ОЧАГИ ДО И ПОСЛЕ КАТАСТРОФ. – М.: Научный мир, 2005. – 184 с., 16 с. цв. вкл.

ISBN 5-89176-294-3

Выявлена цикличность катастрофического селеформирования, предложена система новых показателей для характеристики селевых объектов. Прослежена адаптация рельефа к новым условиям после крупных селей. Приведены методика и результаты мониторинга селевых очагов в реальном времени и с помощью повторных съемок. Показана динамика рельефа до и после селевых катастроф на Центральном Кавказе, в том числе последствия Герхожанской катастрофы 2000 г. и Геналдонской катастрофы 2002 г.

Рецензенты:

доктор географических наук А.А. Лукашов
кандидат географических наук Н.К. Кононов

 Публикуется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 04-05-78003)

Chernomorets S.S.

ORIGINATION SITES OF DEBRIS FLOW DISASTERS: BEFORE AND AFTER.
– Moscow: Scientific World, 2005. – 184 p., 16 color ill.

The book identifies cycles of catastrophic debris flow formation and suggests a system of new criteria for characterisation of debris flow objects. It describes adaptation of terrain to new conditions after large debris flows. Methods and results of monitoring at debris flow origination sites are presented, both for real-time observations and for analysis on the basis of repetitive surveys. The book also illustrates terrain changes before and after debris flow catastrophes in the Central Caucasus, including the consequences of the Gerkhozhan disaster (2000) and the Genaldon disaster (2002).

ISBN 5-89176-294-3

© С.С. Черноморец, 2005

© Научный мир, 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Глава 1. Состояние вопроса, основные понятия и термины	13
1.1. Строение селевых объектов	13
1.1.1. Сель и селевой очаг	13
1.1.2. Понятие “селевой бассейн” и проблема его границ	15
1.1.3. Системы селевых очагов	17
1.1.4. Литодинамические зоны и бюджет наносов как критерий их выделения	19
1.2. Этапы развития селевых очагов при катастрофических селях	20
1.2.1. Понятие “селевая катастрофа”	20
1.2.2. Цикл катастрофического селеформирования	22
1.2.3. Стадии цикла	23
1.2.4. Особенности исследования селевых объектов в различные периоды цикла	23
1.2.5. Начальный импульс и эффект мультипликативности	24
1.2.6. Интегральная селеактивность	25
1.2.7. Регенерация селевой массы	25
Выводы	27
Глава 2. Изученность селей и селевых катастроф	29
2.1. Селевые катастрофы в мире	29
2.2. Изученность селей Центрального Кавказа	31
2.2.1. Этап эпизодических исследований	32
2.2.2. Этап систематических исследований	33
2.3. Селевые катастрофы Центрального Кавказа	36
2.3.1. Границы района детальных исследований	36
2.3.2. Селевые катастрофы в долине реки Баксан	36
2.3.3. Селевые катастрофы в долине реки Геналдон	38
Выводы	39

Глава 3. Морфолитодинамика селевых очагов после Герхожанской катастрофы 2000 года	40
3.1. Характеристика территории	40
3.1.1. Географическое положение и рельеф	40
3.1.2. Селевая активность в последние десятилетия	42
3.2. Методика исследований	46
3.2.1. Полевые инженерно-геологические и геодезические работы	46
3.2.2. Аэроматериалы и их дешифрирование	50
3.2.3. Применение данных космической съемки	53
3.2.4. Камеральная обработка полевых данных	54
3.2.5. Способ расчетов объема селевой массы	54
3.3. Морфолитодинамика на разных стадиях цикла	57
3.3.1. Стадия предкатастрофической подготовки	57
3.3.2. Причины возникновения селей 18–25 июля 2000 года и ход катастрофы	58
3.3.3. Стадия эпикатастрофической адаптации очагов: первый год после катастрофы	67
3.3.4. Эпикатастрофический лимногенез	69
3.3.5. Изменения приледниковой зоны во второй год после катастрофы	70
3.4. Натурные наблюдения за эпикатастрофическими процессами	72
3.4.1. Механизм и темпы отступления бровок селевого каньона	73
3.4.2. Склоновые микросели	74
3.4.3. Русловые микросели в днище долины	76
3.4.4. Криогенные процессы на моренном уступе между каньонами	78
3.5. Расчеты объемов селей	78
3.5.1. Объем выноса на стадии катастрофы	78
3.5.2. Объем выноса из селевого каньона Зап. Каярты-Су на стадии эпикатастрофической адаптации	80
3.5.3. Объем селей за период наблюдений в бассейне	82
3.6. Оценка динамики селевых очагов в будущем	83
Выводы	84
Глава 4. Селевые очаги на стадии межкатастрофической эволюции	87
4.1. Бассейн Джаловчат и последствия катастрофы 1940 года	87

4.1.1. Строение селевых очагов бассейна Джаловчат	87
4.1.2. Стадия предкатастрофической подготовки	89
4.1.3. Характеристика катастрофы 1940 года	89
4.1.4. Стадия межкатастрофической эволюции: состояние через 62 года	90
4.2. Бассейн Куллумкол-Су и последствия катастрофы 1983 года	96
4.2.1. Строение очагов бассейна Куллумкол-Су	96
4.2.2. Стадия предкатастрофической подготовки	96
4.2.3. Характеристика катастрофы 1983 года	97
4.2.4. Стадия эпикатастрофической адаптации	98
4.2.5. Состояние через 19 лет после катастрофы	99
Выводы	105
Глава 5. Геналдонская гляциальная катастрофа и начало стадии эпикатастрофической адаптации	106
5.1. Строение долины	107
5.2. Методика исследований и использованные материалы	109
5.3. Стадия предкатастрофической подготовки	111
5.4. Реконструкция и масштабы событий 20 сентября 2002 года	111
5.5. Эпикатастрофический лимногенез	115
5.6. История возникновения и динамики Санибанского озера	116
5.7. Изменения других временных озер	118
5.8. Гипотезы о причинах возникновения катастрофы 2002 года	119
5.9. О скоростях и механизме движения потока	120
5.10. Оценка предстоящих изменений	121
5.11. Терминологическая дискуссия	122
Выводы	124
Глава 6. Селевые очаги с признаками предкатастрофической подготовки	126
6.1. Район исследований	128
6.2. Возникновение и история группы озер у ледника Башкара	129
6.3. Принятые топонимические обозначения	130
6.4. Методика исследований	131
6.4.1. Анализ аэрофотоснимков и космических материалов	131

6.4.2. Полевые работы и картографирование озер	132
6.5. Динамика озер	134
6.5.1. Изменения береговой линии при отступании ледника	134
6.5.2. Колебания уровня	140
6.5.3. Карта береговой линии и изменения глубин	141
6.6. Опасность прорыва озер и формирования катастрофического селя	144
Выводы	145
Глава 7. Анализ полученных результатов	146
7.1. Обобщенная характеристика участков	146
7.1.1. Сводные данные по морфолитодинамике участков селевых катастроф	146
7.1.2. Бассейн Герхожан-Су	147
7.1.3. Бассейны Джаловчат и Куллумкол-Су	148
7.1.4. Бассейн Геналдон	149
7.1.5. Новые озера у края ледника Башкара	149
7.2. Расчет интегральной селеактивности	150
7.3. Формирование катастрофических селей как вид цикличности селевого процесса	151
7.4. Место селей в ряду катастрофических процессов, преобразующих рельеф Земли	152
7.5. Перспективы использования предложенных разработок	153
7.5.1. Локальный прогноз участков будущих катастроф	153
7.5.2. Космический мониторинг катастрофических селей	154
7.5.3. Продолжение исследований на изученных участках	155
Заключение	157
Литература	161
Summary	179
Краткое содержание книги	181

Памяти мамы

ВВЕДЕНИЕ

Катастрофические селевые потоки приводят к радикальному изменению геоморфологического строения днищ горных долин. В результате селей нередко разрушаются строения и сооружения, затрудняется транспортное сообщение, гибнет скот. Известны случаи жертв среди населения. Зарождение селевых катастроф обычно начинается от ледников и прилегающих к ним массивов мертвых льдов. Наибольшей активностью отличается морфолитодинамика в селевых очагах, где перемещения масс вещества очень велики.

В области изучения селевых катастроф накоплен определенный опыт исследований, включающий выявление параметров сошедших селей и разработку 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 процесс подготовки следующей катастрофы 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 исследования заключалась в изучении динамики селевых очагов при селевых катастрофах, а также после катастроф и между ними. Для достижения поставленной цели необходимо было изучить последствия селевых катастроф и процессов, происходящих в селевых очагах после них; разработать систему понятий, характеризующих селевые объекты, и методику исследования; подготовить и провести мониторинг селевых очагов; провести расчеты; выявить признаки потенциально опасных процессов там, где селевая катастрофа может произойти в будущем.

Одним из главных регионов России, где угроза селевых потоков актуальна в настоящее время, является Центральный Кавказ. Катастрофы, произошедшие в г. Тырнаузе в июле 2000 г. и в долине р. Геналдон в 2002 г., привлекли к этому району широкое внимание.

Катастрофические сели на Центральном Кавказе изучаются со второй половины XIX века. Проблема природных катастроф, одним из главных видов которых были селевые потоки, появилась с началом прокладки в высокогорье коммуникационных путей, 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 промышленных объектов.

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 были сделаны повторные съемки и измерения, характеризующие объекты, где происходили селевые катастрофы. Применялось дешифрирование дистанционных материалов, в том числе результатов цифровой аэросъемки и космических снимков. Положение участков селевых катастроф, где проводились детальные исследования, показано на рисунке В.1.

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. Проведены наземные съемки фотокамерой Olympus IS21 QD и цифровой камерой Minolta DiMAGE S404. В рамках настоящей работы А.А. Алейниковым выполнены съемки фототеодолитом Photho Carl Zeiss Jena и тахеометром Theo 010B Carl Zeiss Jena.

При дешифрировании использовались материалы аэросъемки с вертолетов и самолетов, проводившейся с применением цифровых камер и аэрофотоаппаратов И.В. Галушкиным, М.Ю. Никитиным, В.П. Олохтоновым, А.П. Полквым.

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. В процессе исследований применялись компьютерная техника и программные продукты Adobe Photoshop, ESRI ArcPad, ArcView 3.x, CorelDraw, ERDAS Imagine 8.x, Microsoft ActiveSync, а также офисные программы. В полевых работах применялись приемники глобального спутникового позиционирования (GPS) Garmin, в сочетании с портативным компьютером Casio Cassiopeia.

В результате исследований была разработана система терминов, характеризующих катастрофические сели, селевые очаги и объемы перемещенных масс. Предложено понятие цикла катастрофического селеформирования. Восстановлены основные события селевых катастроф в нескольких бассейнах, а также динамика условий селеобразования на стадиях эпикатастрофической адаптации, межкатастрофической эволюции и предкатастрофической подготовки.

Составлена схема деления селевых объектов на литодинамические зоны в соответствии с изменениями бюджета наносов. Разработан способ расчетов объема



Рис. В.1. Местоположение участков селевых катастроф на Центральном Кавказе. Космический снимок Landsat ETM+ от 18 августа 1999 г. Участки, где произошли катастрофы: I – Джаловчатская 1940 г., II – Башкаринская 1959 г., III – Куллумкольская 1983 г., IV – Герхожанская 2000 г., V – Геналдонская 2002 г.; белые кружки – населенные пункты

селевой массы, прошедшей через каждое сечение русла в течение всего селя, проведены расчеты объемов селей на разных стадиях и интегральной селеактивности. Изученные предкатастрофические и эпикатастрофические озера являются новыми географическими объектами, особенности строения и морфолитодинамики которых детально исследованы автором.

Автор участвовал в составе группы в обследовании очагов зарождения селей в ходе ликвидации последствий селевой катастрофы в г. Тырнаузе (июль 2000 г.) по согласованию с Министерством по чрезвычайным ситуациям России. В ходе

работ были получены наземные данные о причинах формирования селей в верховьях бассейна Герхожан-Су. Материалы, положенные в основу монографии, использовались при работе по инженерно-геологическому обследованию селевых бассейнов для подготовки и проведения мониторинга, в связи с проектированием мероприятий по инженерной защите от селей и при разработке решений по ликвидации последствий катастроф на Центральном Кавказе.

В монографии отражены материалы диссертационной работы автора [Черноморец, 2003 б]. Монография состоит из введения, 7 глав и заключения.

В главе 1 рассматриваются состояние вопроса, уточняется значение ряда терминов и излагаются взгляды автора на цикличность катастрофического селеформирования.

Глава 2 посвящена изученности селей Центрального Кавказа, селевых катастроф в мире и в долинах рек Баксан и Геналдон. Прослежена история селевых исследований с середины XIX века, основные направления исследований. Приведен обзор наиболее крупных катастроф на Центральном Кавказе.

Глава 3 содержит материалы о селевой катастрофе в долине р. Герхожан-Су в июле 2000 года и результатах мониторинга селевых очагов на стадии эпикатастрофической адаптации.

В главе 4 приведены результаты изучения бассейнов, очаги в которых находятся на стадии межкатастрофической эволюции. На примере долин Джаловчат и Кулдумкол-Су прослежено, как происходит изменение очагов через 62 и 19 лет после селевой катастрофы.

Глава 5 содержит материалы о Геналдонской гляциальной катастрофе 2002 г. в Осетии, относящейся к редко встречающимся явлениям с очень высокими объемами и скоростями движения. Реконструированы события на стадии катастрофы и прослежено начало переработки очагов на стадии эпикатастрофической адаптации. Детально рассмотрена роль лимногенеза в эпикатастрофической динамике долины.

Глава 6 включает данные об очаге, находящемся на стадии предкатастрофической подготовки – комплексе новых озер у края ледника Башкара. Приведены результаты детальных исследований комплекса и дан прогноз морфолитодинамики в результате возможного прорыва озер.

Глава 7 посвящена обобщению материала по изученным селевым катастрофам. Обсуждаются виды цикличности селевого процесса, рассматриваются перспективы продолжения исследований на изученных участках. Рассматриваются возможности использования космической съемки для мониторинга селей. Анализируется вопрос о месте селей в ряду катастрофических процессов, преобразующих рельеф Земли.

Фотографии и рисунки, за исключением специально оговоренных случаев, выполнены автором. Авторство снимков, предоставленных коллегами, указано в подрисуночных подписях.

Монография отражает результаты исследований по состоянию на март 2003 года.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (исследовательский проект 03-05-64792).

Благодарности

В период работы автор сотрудничал с рядом организаций и учреждений, среди которых хотелось бы отметить следующие:

географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ), прежде всего кафедру геоморфологии и палеогеографии, кафедру криолитологии и гляциологии, научно-исследовательскую лабораторию снежных лавин и селей, лабораторию аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики, Эльбрусскую учебно-научную станцию,

- Университетский центр инженерной геодинамики и мониторинга (Москва),
- лабораторию фотогеологии геологического факультета МГУ,
- лабораторию аэрокосмических методов изысканий Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС) (позднее – научно-производственный центр “Аэроизыскания”) (Москва),
- Центр “Антистихия” Министерства по чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Москва),
- Инженерно-технический центр “СканЭкс” (Москва),
- Государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт “Гидропроект” (Москва),
- Северо-Кавказский институт по проектированию объектов водохозяйственного и мелиоративного строительства “Севкавгипроводхоз” (Пятигорск),
- МКБ “Бадр-Форте-Банк” (Москва),
- Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды по Республике Северная Осетия–Алания МПР России (Владикавказ),
- Научно-исследовательскую лабораторию “Геологоразведчик” (Владикавказ),
- Комитет природных ресурсов по Кабардино-Балкарской Республике МПР России (Нальчик),
- Кабардино-Балкарскую геологоразведочную экспедицию (Нальчик),
- Высокогорный геофизический институт (Нальчик),
- Государственное предприятие Кабардино-Балкарской республики Территориальный центр “Каббалкгеомониторинг” (Нальчик),
- Тырныаузский вольфрамово-молибденовый комбинат (Тырныауз),
- Сибирский государственный проектно-изыскательский институт “Сибгипрогранс” (Новосибирск),
- NASA Johnson Space Center (Хьюстон, США).

Хотелось бы поблагодарить лично всех, кто помогал во время работы. Ряд вопросов разрабатывался совместно с соавторами – к.г.н. А.А. Алейниковым, д.г.н. В.Н. Голосовым, И.В. Крыленко, Д.А. Парамоновым, к.г.н. Д.А. Петраковым, к.г.н. В.В. Поповниным, к.г.н. И.Б. Сейновой, Ph.D. О.В. Тутубалиной. В полевых работах и сборе материала вместе с автором участвовали также А.М. Алейникова, О.И. Бударина, Е.В. Егорова, И.А. Ефремова, П.Г. Журавлева, к.г.н. Е.А. Золотарев, Н.Ю. Красных, И.Н. Крыленко, М.М. Лобов, А.В. Розова, А.Ю. Ротарь, к.г.н. Т.Л. Сидорова, Е.С. Соколова, В.Б. Суворов, И.А. Третьяков, Л.С. Черноморец. В обработке материалов автору помогли В.А. Горбатов, к.г.н. В.П. Олохтонов.

Предоставили материалы и оказали ценное содействие д.ф.-м.н. А.Х. Аджиев, Е.В. Аксаментов, М.М. Багов, А.А. Банников, А.Ф. Барановский, С.А. Баскаев, д.г.н. В.Р. Болов, Л.В. Власова, И.В. Галушкин, О.А. Гончаренко, А.Н. Джабиев, С.Д. Джубуев, Б.А. Дзгоев, Д.В. Добрынин, Л.Д. Долгушин, А.С. Емкужев, Е.В. Исенко, М.М. Камбиев, д.г.н. Ю.Ф. Книжников, А.И. Коваль, Б.В. Малахов, к.г.-м.н. И.В. Мальнева, Х.М. Машуков, С.В. Минделевич, М.Ю. Никитин, акад. МАМР К.Н. Носов, Н.В. Обухова, А.П. Полквой, Дж.А. Робинсон (J.A. Robinson), О.Н. Рыжанов, А.А. Савостин, Е.С. Таратынко, В.Х. Ульбашев, Х.М. Ульбашев, А.В. Фалин, М.М. Хаджиев.

В обсуждении полученных результатов автору помогли ценные советы и замечания, которые сделали д.г.н. И.В. Бондырев, д.г.н. В.Н. Голубев, д.г.н. Г.Е. Глазырин, к.г.н. Л.В. Десинов, к.г.н. Ю.Г. Ильичев, д.г.н. А.П. Ковалев, к.г.н. Н.К. Кононова, д.г.н. А.Р. Медеу, д.г.н. А.Н. Олиферов, д.г.н. П.А. Плеханов, д.г.н. В.Л. Познанин, д.г.н. А.Л. Ревзон, д.г.-м.н. С.М. Фотиев, чл.-корр. РАЕН д.г.н. А.И. Шеко, д.г.н. Э.Д. Церетели.

На становление автора как специалиста значительное влияние оказали к.г.н. Ал.П. Бгатов, Л.И. Захарова, д.г.н. А.А. Лукашов, С.А. Ларьков, д.г.н. В.Ф. Перов, к.г.н. В.В. Поповнин. Работа была бы невозможна без поддержки со стороны родителей автора – И.В. Черноморец и С.М. Черноморца.

Автор благодарит Ph.D. О.В. Тутубалину – жену и соавтора – за понимание и помощь в работе. Особую признательность хотелось выразить к.г.н. И.Б. Сейновой, благодаря которой у автора возник интерес к селевым процессам и которая является его наставником на протяжении многих лет, и к.г.-м.н. Э.В. Запороженко, передавшему автору часть своего уникального опыта, а также оказавшему значительную помощь материалами, советами и в виде организационных усилий. На всех этапах автор ощущал поддержку и помощь научного руководителя и учителя – академика РАЕН, д.г.н., профессора Ю.Г. Симонова.

Всем, кто помогал в период работы, автор выражает свою искреннюю благодарность.

Глава 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

1.1. Строение селевых объектов

1.1.1. Сель и селевой очаг

Базовым понятием для изучения рассматриваемых объектов является термин “сель”. Определение его в прошлом вызывало дискуссии. Критический обзор определений понятия “сель” в период, когда обсуждение было в разгаре, приводился в работе И.В. Боголюбовой [1957].

В русском языке термин “сель” используется со второй половины XIX века. Вероятно, впервые в научный оборот он был введен Б.И. Статковским [1859]. До начала 1950-х гг. встречались формы написания “сэль” [Пыльцов, 1904], “сил” [Потребецкий, 1941], а также употребление слова “сель” в женском роде [Псарев, 1885].

В настоящее время определение селя закреплено в нескольких нормативных документах и словарях. Так, “Руководство по изучению селевых потоков”, создававшееся как нормативный документ в системе гидрометеорологической службы, определяет селевой поток (сель) как горный поток, состоящий из воды и горной породы [Руководство..., 1976]. В “Методическом руководстве по комплексному изучению селей”, применявшемся исследователями, работавшими в системе Министерства геологии СССР, сели обозначены как внезапные кратковременные горные потоки, обильно насыщенные... обломками горных пород и возникающие в определенных природных условиях после ливней, при интенсивном таянии снега и льда, или при прорыве завалов русел и плотин в бассейнах, где имеются большие запасы рыхлого материала [Методическое руководство..., 1971].

Согласно “Четырехязычному энциклопедическому словарю терминов по физической географии” И.С. Щукина, “сель (от араб. сайль – бурный поток), мур, – грязевой или грязекаменный поток, внезапно возникающий 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, с. 395]. В терминологи-

ческом словаре "Селевые явления" В.Ф. Перова "сель" обозначен как стремительный русловой поток, состоящий из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек. Селевой поток характеризуется резким подъемом уровня, пульсационным (волновым) движением, кратковременностью действия (как правило, 1–3 часа), значительным эрозионно-аккумулятивным эффектом [Перов, 1996].

В языках различных народов сели называются по-разному. В Германии, Восточной Австрии, Тироле сель называют словом "мур", в Западной Австрии – "гисс", "гиссе", в Швейцарии – "руфф", "цуге", на острове Ява – "банджир", в Перу – "уайко", в Каракоруме – "сва", в Японии – "ямацунами" [Виноградов, 1980]. В Югославии сели именуют "буйкнитоами", во Французских Альпах – "кантами" [Методическое руководство..., 1971]. В караево-балкарском языке сель называется словом "ыркы" [Мурзаев, 1984; Засохов и Соттаев, 1989].

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). По мнению шведских специалистов, исследовавших вопрос об определении селя в англоязычной литературе, "debris flow" – "быстрое массовое движение блоков, а также смеси обломков породы и грунта путем течения водонасыщенной массы, вытянутой в виде языка", а "mudflow" – "то же, что debris flow, но с более измельченными частицами" [Rapp, Nyberg, 1981, p. 183–184]. А. Рапп и Р. Найберг пишут, что общепотребительных шведских аналогов терминов "debris flow" и "mudflow" не существует, и приблизительно в шведском языке "slamström" соответствует слову "mudflow", и "blockig slamström" – словосочетанию "debris flow" [Rapp, Nyberg, 1981]. Возможно, что отсутствие единого термина, соответствующего слову "сель", помешало тому, чтобы селеведение в англоязычных странах стало самостоятельным научным направлением.

Термин "селевой очаг" используется в названии монографии, поэтому необходимо уточнить, что в ней понимается под данным названием. "Руководство по изучению селевых потоков" [1976] "селевым очагом" называет участок селевого бассейна, имеющий потенциальные возможности для развития сдвигового или эрозионного селевого процессов. В "Методическом руководстве по комплексному изучению селей" [1971] определение очага не приводится. С.М. Флейшман и В.Ф. Перов определяют "селевой очаг" как участок селевого бассейна, обычно в верховьях, где происходит зарождение селевого потока [Флейшман, Перов, 1986; Перов, 1996]. При эрозионном и прорывном механизме зарождения селевой очаг фиксируется местом формирования селевой волны в русле, ниже которого присутствуют непрерывные следы движения селя, при обально-оползевом – местом срыва грунтовых (снежных, фирново-ледяных) масс на склоне.

По мнению С.М. Флейшмана и В.Ф. Перова, от "селевого очага" следует отличать "очаг твердого питания селей" – участок селевого бассейна в зонах зарождения

и транзита, где существуют массивы горных пород, способных к смещению или размыву и вовлечению их в селевой поток. Участки со следами такого смещения или размыва фиксируют сработавшие очаги твердого питания, остальные относятся к категории потенциальных [Флейшман, Перов, 1986]. Такое определение отражает сущность строения очагов, хотя оно пока не стало общепотребительным. Нередко в литературе используются сходные с "селевым очагом" понятия "очаг зарождения селей", "очаг формирования селей".

В настоящем исследовании под "селевыми очагами" 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. Таким образом, очаги зарождения селей и очаги твердого питания будут ниже для краткости называться единым наименованием "селевой очаг".

1.1.2. Понятие "селевой бассейн" и проблема его границ

Согласно определению А.И. Шеко, селевыми или селеопасными называются бассейны рек, ручьев и логов, в которых или наблюдались случаи прохождения селей, или по геологическим условиям возникновения их вполне вероятно [Методическое руководство..., 1971]. По В.Ф. Перову, "селевой бассейн" – водосборный бассейн, в пределах которого формируются селевые потоки, а движение их происходит по главному руслу [Перов, 1996].

Селевые бассейны являются основной единицей при картографировании селей. Методические руководства требуют отражения в таблицах площади селевых бассейнов. Однако существует проблема проведения границ селевого бассейна. Селевые потоки формируются в разных очагах. Часть селей доходит до устья водотока, другая часть затухает в его верховьях. Гидрологические границы бассейнов редко являются границами для селей. Часть селей затухает в средней или верхней части бассейна, не достигая устья. В то же время нередко сель выходит из долины притока в русло главной реки и либо проходит по ней некоторое расстояние, либо перегораживает ее и является причиной формирования нового прорывного селя по этой реке. Неясно, какая точка служит нижней границей, "устьем" бассейна. Как правило, на практике подсчитывают площадь речного бассейна, в котором зарождается сель, и указывают ее в качестве площади селевого бассейна.

Поэтому при употреблении термина "селевой бассейн" нередко возникает неясность, что имеется в виду. Кроме того, если очаг зарождения во многих случаях имеет четкую верхнюю границу, то переход селя в наносоводный паводок нередко плавный, и установить точку остановки селя не всегда представляется возможным. Противоречие возникает, как уже отмечалось, если селевой поток превращается в неселевой намного выше устья реки, или если в результате сработки

пары “приток – главная река” после подируживания формируется сель по главной реке. В большинстве случаев указанные в таблицах селевых бассейнов площади не имеют смысла, с точки зрения анализа собственно селевых потоков. Представляется, что корректное проведение границ селевого бассейна по гидрологическому критерию (по водоразделам, ограничивающим речной бассейн в границах от истока до устья) невозможно.

Попытки разрешить указанное противоречие путем выстраивания селевых бассейнов по категориям в зависимости от порядка реки предпринимались В.Ф. Перовым, И.Б. Сейновой [Перов, 1996, 2001; Сейнова, Золотарев, 2001]. В классификации В.Ф. Перова селевые бассейны разделены на склоновые и долинные, с выделением простых и сложных бассейнов [Перов, 2001].

По-видимому, можно констатировать, что понятие “селевой бассейн” можно использовать для описания бассейнов, в которых сходят сели, но нельзя применять для расчетов без указания, какой критерий используется для определения его границ:

- водосбор селевого очага,
- водосбор бассейна данного порядка,
- водосбор замыкающего створа, при котором сель затухает и переходит в наносоводный паводок,
- часть водосбора следующего порядка, не принимающая участие в селевом процессе (рис. 1.1).

Водосбор селевого очага (“селесбор”) может занимать как значительную, так и очень малую часть бассейна. Соотношение между площадью водосбора селево-

го очага и площадью водосбора бассейна данного порядка (обычно и называемую площадью селевого бассейна) изучалось на примере одного из районов Южно-Муйского хребта в Бурятии (табл. 1.1) [Черноморец, 1991]. Хотя для Центрального Кавказа величины будут иными, но важен факт попытки количественного анализа отношения этих величин.

Таблица 1.1

Отношение площади водосбора селевого очага к площади водосбора бассейна данного порядка [Черноморец, 1991]

Параметр	Обозначение	Значения			Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации
		среднее	минимальное	максимальное		
Площадь водосбора бассейна данного порядка, км ²	S_b	13,1	0,22	32,0	10,44	0,80
Площадь водосбора селевого очага, км ²	S_c	3,4	0,21	10,0	3,14	0,92
Отношение площади водосбора селевого очага к площади водосбора бассейна данного порядка	$K_c = S_c/S_b$	0,39	0,07	0,97	0,32	0,83

Понятие “селевой бассейн” необходимо для анализа селевых процессов и широко применяется при картографировании, но для определения расчетных характеристик селей его использование затруднено. Для корректности при сравнительном анализе бассейнов, в которых сходят селевые потоки, необходимо специально оговаривать, какой бассейн имеется в виду.

1.1.3. Системы селевых очагов

Если в бассейне имеется не один, а несколько селевых очагов, то селепроявления в них могут как совпадать, так и не совпадать по времени. Одно и то же русло часто служит путем схода потоков из разных селевых очагов. При трансформации русла и прилегающих склонов часто возникают условия для формирования новых очагов или активизация существующих. Поэтому, видимо, целесообразно говорить не об отдельных очагах, а о системе селевых очагов бассейна.

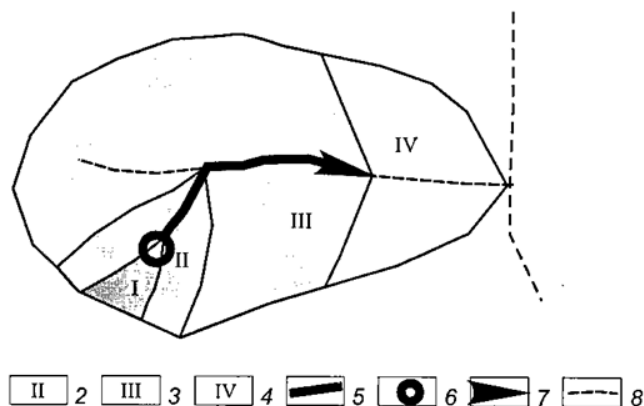


Рис. 1.1. Варианты проведения границ селевого бассейна

1 – водосбор селевого очага; 2 – водосбор бассейна данного порядка; 3 – водосбор замыкающего створа, при котором сель затухает и переходит в наносоводный паводок; 4 – часть водосбора следующего порядка, не принимающая участия в селевом процессе; 5 – путь селя; 6 – очаг зарождения селя; 7 – точка затухания селя; 8 – русла неселевых водотоков

Согласно исследованиям автора, имеются существенные различия между системами селевых очагов Западного, Центрального и Восточного Кавказа. На Западном Кавказе (например, в бассейнах рек Теберды и Большого Зеленчука) преобладают изолированные очаги: разгрузка селей из большинства очагов не захватывает других очагов. Напротив, на Восточном Кавказе (Дагестан, бассейны рек Кара-Койсу и Аварского Койсу) чаще встречается сочетание очагов: при сходе селя из бокового притока происходит подпруживание главной долины, образование подпрудного озера и последующее формирование прорывного селя. Проявляется своеобразный "эффект домино": сели в вышележащих звеньях приводят к образованию новых и активизации старых очагов. Большинство долин водосбора имеет следы селевого режима. Центральный Кавказ занимает промежуточное положение: здесь встречаются как изолированные очаги, так и их системы (рис. 1.2).

Можно, видимо, говорить о трех преобладающих типах систем селевых очагов Северного Кавказа: Западно-Кавказском, Центрально-Кавказском и Восточно-Кавказском. Причина смены типов, по-видимому, лежит в уменьшении количества осадков и сокращении площади лесных массивов на горных склонах с запада на восток вдоль Главного Кавказского хребта. Многие участки на Западном Кавказе, видимо, были бы поражены селевыми процессами, если бы не были покрыты лесной и луговой растительностью. Кроме того, к востоку от Казбека, в наиболее пораженной селями высокогорной зоне Кавказа, уменьшаются площади выхода гранитов и нарастает доля площадей, занятых неустойчивыми породами – глинистыми сланцами, мергелями. Это также способствует усилению пораженности территории селевыми процессами. Катастрофические сели на Восточном и Западном Кавказе формируются значительно реже, чем на Центральном.

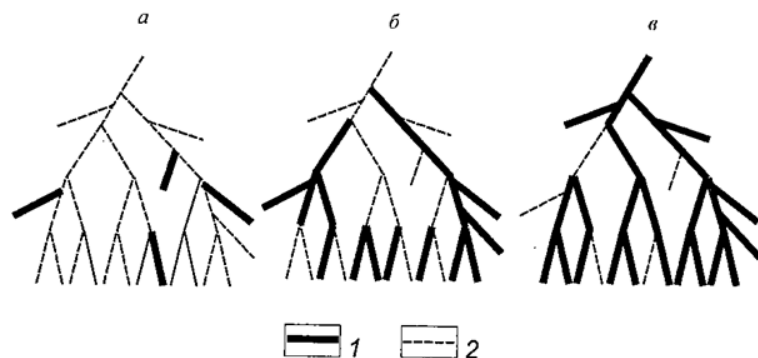


Рис. 1.2. Характерное соотношение селевых и неселевых русел в различных частях Северного Кавказа
а – Западный Кавказ; б – Центральный Кавказ; в – Восточный Кавказ; 1 – селевые русла; 2 – русла неселевых водотоков

1.1.4. Лигодинамические зоны и бюджет наносов как критерий их выделения

Хорошо известен факт, что в селевом бассейне имеются зоны зарождения, транзита и аккумуляции [Методическое..., 1971; Руководство..., 1976]. Многие авторы отмечают, что в пределах одного бассейна могут встречаться промежуточные зоны аккумуляции, несколько зон транзита, некоторые зоны могут отсутствовать [Фейсман, Перов, 1986; Хворостов, 1987; Перов, 1996]. Однако критерии выделения на зоны, анализ их сочетаний в разных бассейнах пока не служили предметом рассмотрения.

Прежде всего следует уточнить, что зоны являются частями не всего бассейна, а русла и опирающихся на него бортов. Вообще, когда говорят о "селевом русле", в реальности подразумевают русло и прилегающие склоны.

В качестве количественного параметра разграничения зон логично было бы использовать литодинамический критерий – величину бюджета наносов в створе русла. Для этого следует уточнить параметры бюджета наносов. Методика реконструкции бюджета наносов и объема селевой массы разрабатывалась для небольших бассейнов с ледниковым питанием, не имеющих селевых притоков [Черноморец, 1988, 1989, 1991]. Для ледниковых бассейнов пришлось ее дополнить и модифицировать.

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) является вспомогательным параметром, необходимым для дальнейших расчетов полного объема массы, вовлеченной в поток. Он измеряется, как и полный объем, в м^3 . Показатель важен сам по себе, например, при размещении сооружений в селеопасных долинах: так, в верхней части зоны аккумуляции (конуса выноса) построенное сооружение будет затоплено или разрушено, а в нижней – может уцелеть в связи с уменьшением параметра W .

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.

Значения параметра α можно подсчитать по номограмме, приведенной в работе Ю.Б. Виноградова [Виноградов, 1980]. Для наносоводных потоков они составляют 0,15–0,30, для грязевых – 0,40–0,55, для грязекаменных – 0,70–0,85.

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. При денудации $W' > 0$, при аккумуляции $W' < 0$, в случае транзита или равенства выноса и отложения $W' = 0$. Если обломки на участке откладываются равномерно, приращение объема равно постоянной величине: $W' = \text{const}$.

В зависимости от бюджета селевой массы и геоморфологического строения, русло можно делить на литодинамические зоны: преимущественно денудационную (Д), транзитно-денудационную (ТД), преимущественно транзитную (Т), транзитно-аккумулятивную (ТА) и преимущественно аккумулятивную (А). Соотношение зон в бассейне может быть различным. Критерием разграничения литодинамических зон служит резкое изменение приращения объема по длине русла W' .

Удельное приращение объема по длине W'/W представляет собой отношение приращения к величине объема на единицу длины:

$$W'/W = dW / WdL.$$

Оно измеряется в процентах или долях единицы на 1 м селевого русла.

Сочетание зон в одном бассейне при разных селях не является постоянным. При одних селях вынос происходит в верховьях бассейна, и селевая масса аккумуляруется там же. Другие потоки доходят до устья, и основная подпитка их материалом происходит в средней части. Величина смещения границ зон является важной характеристикой функционирования русла, однако это явление также пока не получило освещения в селевой литературе. Соотношение зон является своеобразным геоморфологическим “паспортом” бассейна и может быть использовано для классификации селевых объектов.

1.2. Этапы развития селевых очагов при катастрофических селях

1.2.1. Понятие “селевая катастрофа”

Термин “катастрофа” можно, в связи с частым упоминанием в неспециальной литературе, отнести к понятиям “свободного пользования”. Слово “катастрофа” происходит от греческого “katastrophē”, означающего “переворот, поворот;

конец, гибель”, и определяется как “внезапное бедствие, влекущее за собой тяжёлые последствия” [Словарь иностранных слов, 1986, с. 220]. А.Е. Шейдеггер называет “катастрофой” любое изменение окружающей среды, ставящее под угрозу жизнь человека или влияющее нежелательным образом на его работу [Шейдеггер, 1981]. В словаре С.И. Ожегова “катастрофа” – событие с трагическими последствиями, а катастрофический – являющийся катастрофой, трагический по своим последствиям [Ожегов, 1991].

Упоминания о скачкообразном изменении природных условий содержатся в трактатах “О возникновении и уничтожении” и “Метафизика”, сочинённых Аристотелем в IV веке до новой эры [Аристотель, 2002].

М.В. Ломоносов в трактате “О слоях земных”, опубликованном в 1763 г., писал о катастрофических явлениях: “Густые громовые тучи... не токмо верхний слой земли смыывают, но и камни с мест далече переваливают на другие, деревья вырывают с корнями, строения опрокидывают, прорывают борозды и новые протоки” [Ломоносов, 1986, с. 387]. “Живущие при хребтах гор великих и высоких нередко погребены бывают падением их со всеми жилищами, о коих несчастии редко до нас и слух ходит” [там же, с. 390].

Теория геологических катастроф была сформулирована в 1812 г. Ж. Кювье для объяснения смены видов ископаемой фауны и флоры в пластах горных пород. Впоследствии теория Кювье была вытеснена концепцией эволюционного развития Ч. Лайеля. Однако в последние десятилетия накопился значительный материал о природных катастрофах, и развитие теории катастроф получило новый импульс. Материалы о катастрофических процессах рельефообразования приведены в работах Г.С. Ананьева [1992, 1998].

Понятия “катастрофический сел” или “селевая катастрофа” пока не закрепились в нормативных документах.

Социально-экономическим критерием для отделения катастрофических селей от некатастрофических, видимо, является гибель хотя бы одного человека или существенные разрушения. Если поток был значительным, но ущерба не принёс, то в рамках данной работы такой сел не будет отнесен к катастрофическим. При этом из разрушений, видимо, к катастрофическим следует относить уничтожение строений и объектов инфраструктуры. Такие регулярно повторяющиеся события, приводящие к небольшому ущербу, как заносы селями дорог и сенокосов, также останутся за пределами рассмотрения в данном исследовании.

Поскольку наибольший научный и практический интерес представляют самые крупные катастрофические сели, целесообразно выбрать для исследования пороговое значение объема селевой массы. По-видимому, для Центрального Кавказа градацией при отнесения объема к значительному является цифра 1 млн. м³, отделяющая крупные потоки от менее выдающихся. Именно очаги в бассейнах, где сходили крупные катастрофические сели, рассматриваются в настоящей монографии.

Таким образом, из селевых катастроф в данной работе будут рассматриваться такие, при которых селевой поток или серия потоков в течение короткого времени имели значительный объем (более 1 млн. м³) и в результате которых был причинен значительный материальный ущерб и/или произошли жертвы среди населения.

1.2.2. Цикл катастрофического селеформирования

При анализе причин, приведших к тому, что катастрофа произошла именно в этом, а не в другом бассейне, обычно не удается найти единственное объяснение. Причиной является стечение ряда различных обстоятельств, конкретных для ситуации в данном бассейне. Как правило, объяснение катастрофы причинами, действующими в региональном масштабе (например, экстремальными ливнями, аномальным таянием ледников) не дает ответа на вопрос, почему катастрофическое событие произошло именно в этой долине, а соседние долины оказались не затронутыми.

Понять, почему в данном бассейне произошла катастрофа, затруднительно без анализа процессов, ей предшествующих. Катастрофа происходит после периода подготовки, а затем для перехода процесса в необратимую катастрофическую стадию необходим “спусковой крючок”, или “триггер” – например, небольшой сель или оползень, приводящий к концентрации вещества и провоцирующий переход неустойчивой системы к катастрофическому развитию событий.

Не менее важно знать, как происходит восстановление равновесия в бассейне после катастрофы. К сожалению, этот процесс практически не изучен. Между тем, в бассейне в этот период происходит активная переработка склонов и массивов рыхлого вещества в русле, существенно изменяющая строение бассейна. Когда заканчивается процесс перехода к равновесию? Что является критерием перехода селевых очагов к фазе длительного покоя? На эти вопросы пока не было ответов, и сами вопросы в данном аспекте не были сформулированы.

Поскольку опыт показывает, что катастрофы происходят повторно в одних и тех же бассейнах, представляется, что важно было бы 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.

Выделение цикла катастрофического селеформирования базируется на традиционных в геоморфологии представлениях о цикличности, сформулированных

вине и работах В.М. Дэвиса о географическом цикле и Л. Книга о нормальном цикле денудации [Дэвис, 1962; Книга, 1967].

1.2.3. Стадии цикла

Изучение селевых катастроф трудно проводить, если не рассматривать различные стадии процесса, проходящего в системе селевых очагов бассейна. Катастрофа не происходит совершенно внезапно, ей предшествует период подготовки. В период катастрофы происходит нарушение равновесия и перемещение значительных масс вещества. После катастрофы начинается приспособление прирушенной части бассейна к новым условиям, происходит существенная переработка форм и новых очагов, созданных селем во время катастрофы. Затем, по мере приближения к относительно равновесному состоянию, интенсивность процессов падает, и начинается фаза постепенной эволюции. В какой-то момент возникает нарушение равновесия в очаге, сработавшем во время катастрофы, или в новом, ранее не активном очаге. Эволюция прерывается, и после новой подготовки происходит новая катастрофа. Так выглядит циклический процесс изменений рельефа в бассейне, который, по видимому, имеет смысл разделить на стадии и присвоить им специальные названия.

Планы исследования показывают, что цикл состоит из следующих стадий:

- 1) стадия предкатастрофической подготовки,
- 2) стадия селевой катастрофы,
- 3) стадия эпикатастрофической адаптации (от греческого *epi* – на, над, сверх, при, после; обозначает расположение поверх чего-либо, возле чего-либо, следование за чем-либо – Словарь ..., 1986),
- 4) стадия межкастрофической эволюции.

Анализ морфолитодинамики на разных этапах цикла показывает, что очень важным этапом развития селевых очагов является стадия эпикатастрофической адаптации. В этот период, который обычно считается периодом “молчания” селевого бассейна, в очагах идут интенсивные процессы. Объем перемещаемого вещества при этом, хотя и меньше объема выноса в период катастроф, но также очень значителен.

В последующих главах рассматривается состояние селевых объектов в долинах, где происходили катастрофы, в зависимости от стадий цикла катастрофического селеформирования.

1.2.4. Особенности исследования селевых объектов в различные периоды цикла

Когда происходит селевая катастрофа, соответствующие организации и спасательные службы начинают заниматься ликвидацией ее последствий. Проводится

обследование, организуются экспедиции. Результатами экспедиционных исследований обычно являются данные об условиях формирования селей. При этом работы относятся обычно к стадии эпикастрофической адаптации, что не всегда осознается, и не учитывают развития событий при подготовке катастрофы. Изучение условий формирования селей обычно занимает несколько лет. Затем интерес к катастрофе уменьшается, и люди начинают заниматься более насущными проблемами. Поскольку катастрофический цикл селеформирования длится обычно десятки и даже сотни лет, ощущение опасности проходит. Происходит застройка опасных участков. Содержание служб оповещения в местах, где долгое время ничего не происходит, начинает казаться непозволительной роскошью.

Все это приводит к тому, что в период подготовки катастрофы, как правило, в селевом бассейне не оказывается ни наблюдателей, ни исследователей. Мониторинг отсутствует, и очередная катастрофа еще раз происходит "внезапно".

1.2.5. Начальный импульс и эффект мультипликативности

Когда потенциальный селевой массив подготовлен к селеобразованию, для реализации селевого процесса необходим первоначальный импульс в виде одно-временного движения относительно небольшого объема материала. В англоязычной литературе для обозначения такого импульса используется термин "триггер". В процессе развития катастрофического селя его объем возрастает во много раз – возникает так называемый эффект мультипликативности. С помощью понятия мультипликативности, широко используемого в математике и экономике, было бы полезно проследить соотношение между начальным импульсом и полным объемом вовлеченного в катастрофический процесс материала. Не всегда сведения об объеме материала, послужившего начальным импульсом, можно оценить. Однако знать, во сколько раз объем катастрофического селя превысил объем первичной "критической массы", послужившей инициатором процесса, важно для разработки локального прогноза селеопасности. В связи с этим, полезно было бы ввести специальный показатель, который можно назвать "коэффициентом мультипликативности селевой катастрофы".

Коэффициент мультипликативности селевой катастрофы (обозначим его буквой M) – отношение полного объема материала, вовлеченного в катастрофический селевой поток ($\Sigma W_{\text{полн}}$), к первоначальному объему материала, послужившего импульсом процесса (обозначим его как $\Sigma W_{\text{нач}}$):

$$M = \Sigma W_{\text{полн}} / \Sigma W_{\text{нач}}.$$

Примерами первоначального импульса могут служить: спуск моренного озера; микросель, оползень или обвал, перегородивший реку и создавший условия для накопления воды; прорыв внутриледниковой емкости. Чем меньшая энергия

была приложена для перехода от малого селя к катастрофическому, тем выше коэффициент мультипликативности селевой катастрофы.

1.2.6. Интегральная селеактивность

Для бассейнов, в которых происходят селевые катастрофы, важно оценить величину денудации, осуществленной селевыми потоками. Для подобной оценки необходим специальный коэффициент, учитывающий объем выноса, повторяемость и площадь территории. С.М. Флейшман предлагал применять показатель приведенной селеактивности бассейна – объем выносов, деленный на число лет, выраженный в млн. м³/год [Флейшман, 1978]. Этот показатель учитывает как объем, так и частоту схода селей. Однако для оценки селевой денудации имеет также значение площадь территории. Поэтому, в дополнение к коэффициенту приведенной селеактивности С.М. Флейшмана, автором был предложен показатель, названный интегральной селеактивностью [Третьяков, Черноморец, 1990]. Интегральная селеактивность – это величина среднего условного слоя вещества, перемещенного селями в единицу времени, измеряемая в мм/год. Физический смысл показателя интегральной селеактивности (обозначим его буквой I) заключается в суммарном объеме выноса всех селей, деленном на площадь территории и на количество лет, с учетом единиц измерения:

$$I = \Sigma W_{\text{полн}} \cdot 10^3 / (F \cdot T),$$

где $\Sigma W_{\text{полн}}$ – суммарный объем селевых выносов за рассматриваемый период, млн. м³; F – площадь рассматриваемой территории, км²; T – время, лет.

Чтобы сопоставить понятие интегральной селеактивности с другими показателями, можно отметить, что некоторые авторы для сравнения скоростей геологических процессов используют предложенную А.Г. Фишером единицу 1 бубнов: 1 бб – 1 мм/тыс. лет [Fischer, 1969; Ericson, 1969; Оллиер, 1984]. Интегральная селеактивность, равная 1 мм/год, в 1000 раз больше скорости денудации в 1 бубнов. Необходимо также отметить показатели средней абсолютной интенсивности и средней удельной интенсивности денудации, предложенные М.И. Ивероновой [1969], которые являются более общими показателями, чем приведенная селеактивность С.М. Флейшмана и интегральная селеактивность.

Величина интегральной селеактивности – показатель, по которому можно проводить селевое районирование территорий.

1.2.7. Регенерация селевой массы

При расчете интегральной селеактивности в будущем следует учитывать, что общий объем материала, вовлеченный в селевые потоки, не всегда равен сумме

объемов отдельных селей. Это связано с явлением, которое можно назвать “регенерацией селевой массы”. Согласно “Новому словарю иностранных слов”, слово “регенерация” происходит от латинского *regeneratio*, что означает восстановление, возрождение, возобновление [Захаренко и др., 2003]. Регенерация селевой массы представляет собой повторное вовлечение части отложений предыдущих селей в новые потоки.

Коэффициенты регенерации различных величин используются в теплотехнике, электродинамике, экологии. Применительно к селевым процессам, можно предложить ввести специальный параметр – коэффициент регенерации селевой массы, представляющий собой долю селевого материала, повторно вовлекаемого в селевой процесс новым селем, в объеме этого нового селя. Коэффициент регенерации (обозначим его буквой β) необходим для учета селевой массы, повторно вовлекаемой в селевой процесс, при расчетах суммарных объемов материала. Коэффициент определяется по отношению к твердой фазе материала, поскольку водная составляющая нового селя обычно поступает заново. Может рассматриваться как регенерация материала только предыдущего селя, так и регенерация для всех селей за определенный период.

Если обозначить суммарные объемы твердой фазы двух селей в одной долине как W_1 и W_2 , то объем второго селя с поправкой на регенерацию можно выразить следующим отношением:

$$\beta = \frac{(W_1 + W_2) - (W_1 \cap W_2)}{(W_1 + W_2)},$$

где $W_1 + W_2$ – сумма объемов двух селей, $(W_1 \cap W_2)$ – регенерированная часть селевой массы.

Регенерация может быть полной и частичной, а в ряде случаев отсутствовать. Возможны 5 случаев: а) весь объем нового селя состоит из отложений предыдущего селя, причем объемы эти совпадают ($\beta=1$, $W_2=W_1$, $W_2 \in W_1$); б) весь объем второго селя состоит из отложений первого селя, причем объем первого больше объема второго (часть массы отложилась в первый раз и не вовлечена во второй сел) ($\beta=1$, $W_2 < W_1$, $W_2 \in W_1$); в) весь объем первого селя вовлечен во второй сел, причем объем второго больше объема первого ($0 < \beta < 1$, $W_2 < W_1$, $W_1 \in W_2$); г) часть селевой массы первого селя вовлечена во второй сел, при этом массы пересекаются только частично ($0 < \beta < 1$); д) два селя формируются из полностью различного материала, и регенерация отсутствует ($\beta=0$, $W_2 \notin W_1$).

Если бы сведения о коэффициенте регенерации были известны, в формулу можно было бы ввести дополнительный поправочный коэффициент. К сожалению, на данном этапе отсутствуют даже приблизительные оценки доли повторно вовлекаемого в селевые потоки материала.

Выводы

При рассмотрении особенностей употребления термина “сел” в русском языке и языках народов мира складывается впечатление, что наличие специального термина является существенным элементом для оформления отдельного направления в науке. Концентрация усилий исследователей на изучении явления, называемого в русском языке словом “сел”, привела к появлению селеведения. В английском же языке отсутствует единственное слово, эквивалентное понятию “сел”. По-видимому, в связи с этим в англоязычных странах селевые потоки рассматриваются в рамках различных дисциплин, и селеведение не стало самостоятельным научным направлением.

Для понятия “селевой очаг” имеются различные варианты определения. В данной монографии применительно к цели исследования и для краткости селевыми очагами называются как очаги зарождения, так и очаги подпитки селей.

При использовании понятия “селевой бассейн” возникают трудности. Использование критериев, основанных на гидрологических особенностях и на определенных точки перехода от селевого процесса к неселевому, приводит к различным результатам. При картографировании и выявлении расчетных характеристик следует учитывать не столько размеры и площади бассейнов, сколько свойства и взаимное сочетание систем селевых очагов.

Для характеристики объема селевой массы предлагается использовать комплекс показателей, включающий: суммарный объем материала, вовлеченного в поток; суммарный объем твердой фазы материала, вовлеченного в поток; объем твердой фазы, прошедший через данный створ (сечение русла) в течение всего селя; приращение объема по длине и удельное приращение объема по длине.

В зависимости от бюджета селевой массы, русло можно делить на специальные участки – литодинамические зоны: преимущественно денудационную, транзитно-денудационную, преимущественно транзитную, транзитно-аккумулятивную и преимущественно аккумулятивную. Критерием разграничения литодинамических зон служит резкое изменение приращения объема по длине русла.

В данной работе рассматриваются селевые очаги в бассейнах, в которых произошли крупные катастрофические сели. К крупным катастрофическим селям на Центральном Кавказе в данной работе отнесены потоки объемом не менее 1 млн. м³, сопровождавшиеся экономическим ущербом или человеческими жертвами.

Для анализа предложено понятие цикла катастрофического селеформирования. Он состоит из стадий предкатастрофической подготовки, селевой катастрофы, посткатастрофической адаптации и межкастрофической эволюции.

В подготовленном бассейне катастрофическое развитие событий происходит после небольшого процесса, являющегося начальным импульсом катастрофы. Отношение полного объема катастрофического селя к объему материала, вызван-

шего начальный импульс, названо нами коэффициентом мультипликативности селевой катастрофы. Этот показатель служит характеристикой трансформации вещества при катастрофическом процессе.

В качестве параметра селевой деятельности территории может использоваться интегральная селеактивность – величина среднего условного слоя вещества, перемещенного селями в единицу времени. Расчеты суммарных характеристик селеактивности территории должны учитывать повторное вовлечение материала в селевой поток – явление, которое можно назвать регенерацией селевой массы. Оценки регенерации на данном этапе могут быть лишь приблизительными, в связи с тем, что вопрос о регенерации требует дополнительных исследований.

Глава 2

ИЗУЧЕННОСТЬ СЕЛЕЙ И СЕЛЕВЫХ КАТАСТРОФ

2.1. Селевые катастрофы в мире

Катастрофические сели характерны для большинства горных районов мира, причиняя огромный ущерб человеческому населению. Детальный анализ селевых катастроф мира лежит за рамками данной работы, хотя и интересен в качестве материала для сопоставления с данными по Центральному Кавказу. Поэтому можно привести ряд отдельных примеров, не охватывая вопрос в полной мере.

Большой опыт борьбы с селевыми потоками имеют Альпийские страны. Так, первые сведения о катастрофических селях в Тироле относятся к 600 г. новой эры [Ильин-Радов, 1980].

В Латинской Америке известные катастрофы происходили в Никарагуа и Гондурасе. В октябре 1998 г. с вулкана Касита в результате урагана “Митч” сошли мощные селевые потоки [Frampton et al., 2002]. В поток были вовлечены 1,6 млн. м³ лавы и тephры. В 6 км ниже очагов оказались разрушены 2 города, погибло более 2000 чел. Поток пересек Панамериканское шоссе, а в виде наносоводного паводка достиг Тихого океана в 25 км ниже по течению [Kerle, van Wyk de Vries, 2001].

Выдающиеся события отмечены в Перу, в окрестностях горы Уаскаран. Здесь в XX веке дважды происходили катастрофические селевые потоки редкого вида, вызванные обвалами ледников [Dollfus, Peñaherrera, 1962; Shöhl, 1970; Browning, 1971]. 10 октября 1962 г. произошли обвалы ледника, перешедшие в лавину и погубивший сел. Был разрушен поселок Ранраирка и несколько горных селений, погибло около 4 тысяч человек. Через 8 лет, 31 мая 1970 г., новые обвалы ледников и горных пород на склонах горы Уаскаран были вызваны землетрясением. После разгона по поверхности нижележащего долинного ледника и подпитки водой из выбитых моренных озер Ллангануко, поток двумя языками двинулся в сторону долины р. Рио-Санта. С.Г. Эванс и соавторы [Evans et al., 1989], со ссылкой на материалы Г. Плафкера и Ф.Э. Эриксона, приводят данные о характеристиках потока 1970 г. Объем вовлеченного материала оценивался в 50–100 млн. м³. Длина пути потока составила 16 км. Средняя скорость движения составляла 76 м/с, максимальная скорость достигала 278 м/с. Р. Ятзолд приводит еще более высокую оценку максимальной скорости движения – до 360 м/с [Jätzold,

1971]. На огромной скорости поток преодолел водораздел высотой 140 м и уничтожил город Юнгай. Точное число погибших не установлено, поскольку архивы муниципалитета были погребены потоком. По разным оценкам, под завалами осталось от 15 до 31,5 тыс. человек [Jätzold, 1971].

В США проводятся исследования катастрофических селей, причем наиболее заметные результаты получены на западе страны, в окрестностях вулканов Рейнир и Сент-Хеленс в штате Вашингтон [Crandell, 1971; Janda et al., 1981] и Шаста в Калифорнии [Osterkamp et al., 1986; Hupp et al., 1987]. Прорывные паводки на оз. Тальсеква (граница Канады и Аляски) в начале XX века достигали гигантского объема 907 млн. м³ [Виноградов, 1980].

Описание динамики селя ливневого генезиса (без использования слова "сель"), происходившего в 1912 году в Абиссинии, приведено в "Африканском дневнике" Н.С. Гумилева. В результате схода селя погиб один человек [Гумилев, 2001].

В Центральной Азии накоплен значительный опыт изучения катастрофических селей. Сели, разрушавшие г. Верный (Алма-Ата), в 1921 г. достигали объема в 2 млн. м³ [Епанечников, 1921; Вержбицкий, 1921]. Высокой скоростью и большой деструктивной способностью отличался селевой поток, уничтоживший в 1963 г. озеро Иссык [Кавецкий, Калмынкина, 1964; Калмынкина, Горбунов, 1967]. В 1973 г. по Малой Алматинке сошел гляциальный сель объемом 3,8 млн. м³ [Виноградов, 1980].

В Гималаях сейсмотектонические обвалы приводят к образованию гигантских прорывных селей [Ананьев, Леонтьев, 1987]. В 1985 г. прорыв озера Диг Шо (Непал) привел к разрушению гидроэлектростанции и 14 мостов и сопровождался многочисленными человеческими жертвами. Последние исследования выявили в Непале и Бутане 2315 ледниковых озер, из которых 20 озер были отнесены к разряду объектов с высокой вероятностью прорыва. Так, в районе ледникового озера Тшо Рольпа ожидается прорыв, который повлечет разрушения на 100-километровом участке речной долины и угрожает жизням 10 тыс. человек [Global..., 2002].

Выдающийся сель прошел 9 апреля 2000 г. в горах Тибета. Сель был вызван сходом оползня Йингонг в долине р. Замулунгба. Всего в процесс катастрофического движения было вовлечено около 300 млн. м³ материала. После выхода потока в долину р. Йингонгангбу образовалась дамба высотой 130 м, длиной около 2,6 км, за которой сформировалось подпрудное озеро. Правительственные организации Китая пытались провести искусственный спуск части озерных вод. Через 2 месяца прорывной паводок объемом около 3 млн. м³ прошел около 70 км вниз по реке, причем скорость прорывной волны доходила до 124 м/с. В соседних районах Индии погибло около 90 человек [Zhou et al., 2001; Shang et al., 2003].

В Японии селевые потоки разрушают объекты инфраструктуры, которые ввиду значительной плотности населения невозможно расположить на безопасных участках [Katayose, 1987].

На Камчатке зафиксированы гигантские вулканогенные сели, сопровождавшие излияние вулкана Безымянный в 1956 г. Описание взрыва приводится в работе [Бриллиева и др., 1990]. Объем массы, вовлеченной в потоки в 1956 г., составил около 500 млн. м³ [Флейшман и Перов, 1986].

Крупные сели неоднократно проходили на южном склоне Кавказа. В Грузии типичнейший материальный ущерб и человеческие жертвы приносили селевые потоки в бассейнах Дуруджи, Риони, Лиахви, Арагви [Церетели, Церетели, 1985]. По материалам З.К. Таташидзе, И.В. Бондырева и Э.Д. Церетели, "за последние 220 лет в Грузии отмечено 37 случаев селевых проявлений катастрофического характера" [Таташидзе и др., 2001, с. 102]. Катастрофические сели отмечались в ряде долин Азербайджана [Псарев, 1885; Рустамов, 1964; Селевые явления..., 1964].

Необходимо также упомянуть крупные геоморфологические события, связанные с селевыми или имеющие в своем составе селевую составляющую. Среди них можно отметить ледниковые паводки в Исландии, возникающие вследствие подледных вулканических извержений и имеющие местное название "йокульхлауп" (jökulhlaup). Например, поток из подледного озера Гримсват в ноябре 1996 г. был в течение короткого времени второй по водности рекой в мире, расход которой превышал 52000 м³/с [Jonsson et al., 1998; Alsdorf, Smith, 1999]. На Памире в 1911 г. Усойский завал объемом около 2,2 км³ привел к образованию Сарезского озера, о потенциально возможном прорыве которого с образованием крупнейшей селевой катастрофы не прекращаются дискуссии специалистов [Агаханянц, 1989]. В 2002 г. мощное землетрясение привело к формированию обвалов, каменистых лавин и селей в районе разлома Денали на Аляске [Denali Fault..., 2002; Truffer et al., 2002]. К "квазиселевым" потокам, согласно терминологическому словарю селевых явлений [Перов, 1996], относятся мутьевые потоки подводных склонов материкового шельфа. Видимо, к явлениям переходного типа следует относить и сели, происходившие в позднем плейстоцене и раннем голоцене – например, обрывавшие вала Тюбеле в долине р. Баксан на Кавказе [Ковалев, 1954; Короновский, Милановский, 1960], потоки Оцеола и Парадайс в окрестностях вулкана Рейнир [Виноградов, 1980], прорывы оз. Миссула в Северной Америке [Рудой, 2000].

2.2. Изученность селей Центрального Кавказа

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. Однако исследования проводятся преимущественно по следам только что прошедших селевых потоков, причем в большинстве случаев ограничиваются выявлением причин селя

и объемов выноса. Почти всегда за рамками исследований остается послекатастрофическая динамика селевых очагов. Это приводит к тому, что подготовка к следующей катастрофе, как правило, остается неизученной, и чрезвычайная ситуация снова происходит "внезапно".

Характерными примерами являются Герхожанская (Тырныаузская) катастрофа в Кабардино-Балкарии 18–25 июля 2000 г. и Геналдонская катастрофа в Северной Осетии 20 сентября 2002 г. Отсутствие мониторинга селевых процессов и период относительного спокойствия привело к многочисленным человеческим жертвам и значительному материальному ущербу. Создание обзора изученности селей Центрального Кавказа, а также селевых катастроф в мире, необходимо для исследования динамики селевых очагов в посткатастрофический период. Представляется важным оценить роль послеселевой динамики в подготовке катастроф, чтобы последующее прогнозирование селей и разработка противоселевых мероприятий могли опираться на надежные данные.

В истории исследования селей Центрального Кавказа можно выделить 2 основных периода – этап эпизодических исследований, длившийся с середины XIX до середины XX века, и этап систематических исследований, продолжающийся начиная с 1950-х годов.

2.2.1. Этап эпизодических исследований (до середины XX века)

Изучение селевых явлений в России началось с Казбекских завалов, упоминавшихся генералом А.П. Ермоловым в "Записках", А.С. Пушкиным в "Путешествии в Арзрум во время похода 1829 года" и М.Ю. Лермонтовым в "Герое нашего времени" [Записки..., 1991; Пушкин, 1978; Лермонтов, 2001]. Завалы обследовались в связи с обеспечением функционирования Военно-Грузинской дороги и проектированием Кавказской перевальной железной дороги [Зубов, 1834; Статковский, 1859, 1866а, б, 1877, 1884; Висковатов, 1864, 1865; Стебницкий, 1877; Хатисян, 1888; Духовской, 1916, 1917]. Завалы на казбекском леднике Абано 27 и 29 июня 1910 г. с последующими селями по Тереку описаны журналистом С.М. Кировым, впоследствии известным политическим деятелем [Киров, 1948].

В конце XIX и начале XX века появляются отдельные сведения о селях в Приэльбрусье. Так, В.Я. Тепцов [1892] описывает разрушение аула Урусбиево потоками по р. Сылтран-Су в 1881 году, сопровождавшееся гибелью нескольких жителей. А. Герасимов описывает прорыв ледникового озера в верховьях Малки в августе 1909 г., приведший к заносу источника Джилы-Су [Герасимов, 1909, 1911]. Сведения о селях в бассейне Баксана приводит В.В. Дубянский [1913]. Селевые потоки в долине р. Ардон (Осетия) описаны С. Каргиновым [1914]. Сели в бассейне р. Черек описаны В.П. Ренгартеном [1918] и И.Г. Кузнецовым [1926], в бассейне р. Чегем – И.С. Шукиным [1928].

Метеоролог М. Былов и мелноратор А.С. Карасев приводят данные о случаях выхода селей в бассейне р. Баксан в 1927 году [Былов, 1928; Карасев, 1928, 1934]. И.П. Кононов рассказывает о селевом потоке на р. Тютю-Су в 1934 г. [Кононов, 1935]. Синоптические условия формирования селевых паводков 1914 и 1929 гг. в бассейне Терека описываются Г.С. Леонтьевым [1938]. Первые работы по селевым гидростанциям проводил П.С. Непорожний, впоследствии министр электроэнергетики и электрификации СССР [Непорожний, 1938]. Сведения о выдающемся селе в долине р. Адыр-Су в 1940 г. приводят Н.М. Абалаков (начальник учебной части альплагеря "Сталь", подвергшегося разрушению), М.Т. Погребецкий и П.В. Ковалев [Абалаков, 1940; Погребецкий, 1941; Ковалев, 1950].

2.2.2. Этап систематических исследований (с середины XX века)

Начиная с 1954 г., поток публикаций о селях Центрального Кавказа заметно возрос. Мощные импульсы исследованиям дали Международный геофизический год 1957–1959 гг. и Тырныаузские катастрофы 1960–1962 гг. В конце 50-х и начале 60-х гг. преобладали описания отдельных потоков, условий селеформирования, попытки классифицирования очагов и бассейнов. Через 100 лет после работ Н.И. Станковского, снова было продолжено изучение района Военно-Грузинской дороги [Погансон, 1957; Ермаков, 1959]. Традиционные гидрометеорологические и геолого-геоморфологические исследования селей на Центральном Кавказе в 1960-е гг. были дополнены биогеографическими [Турманина, 1968; Кондакова, 1971]. Проводилось дешифрирование следов селей по аэрофотоснимкам [Голубев, Лабуткина, 1966, 1968]. Обобщены данные по гляциальным селям [Голубев, 1964; Тушинский и др., 1966; Герасимов, 1969]. Составлены специализированные карты селевой опасности [Парамонов, 1970].

В конце 1960-х гг. появляются первые работы по прогнозу селей в регионе [Рубцов, 1969]. Впоследствии прогнозная тематика занимает важное место в селевых исследованиях [Ковалев, Ковалев, 1976; Герасимов, 1981; Залиханов, Москвичев, 1981; Мальнева и др., 1985, 1988, 1990; Сейнова и др., 1998]. Наряду с решением задач нового уровня, продолжался сбор первичных данных и паспортизация бассейнов, во многих районах не проведенная до сих пор.

Инженерно-геологические обследования для проектирования селезащитных мероприятий проводились проектными институтами "Гипроникель" (В.И. Титов), "Южгипроводхоз" (впоследствии – "Севкавгипроводхоз") (С.В. Щепкин), "Армгипроцветмет", "Кавказгипроцветмет", Новочеркасской гидрометеорологической академии. В 1968–1969 гг. селевым отрядом Горной Северо-Кавказской комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической станции Кабардино-Балкарской геологоразведочной экспедиции (Ж.А. Шуваев, М.Б. Моттасев,

Е.А. Рубцов) проводилась инженерно-геологическая съемка селеносных притоков Баксана. В 1973–1975 гг. выполнялось инженерно-геологическое обследование в масштабе 1:200000 для выявления угрозы народно-хозяйственным объектам со стороны экзогенных процессов (Н.П. Стрешнева, О.И. Строганова, Д.И. Ажермачев).

Вторая половина 1970-х и в начале 1980-х гг. ознаменовалась ростом количества публикаций. Начинаются работы по математическому моделированию [Сейнова и др., 1978, 1981; Андреев, Сейнова, 1984]. Создавались проекты селезащиты [Запороженко, Кайнер, 1978; Кайнер, Громов, 1984]. Решаются задачи селевого районирования, прослеживаются связи селевой активности с динамикой оледенения. Изучался вопрос о структурно-тектоническом контроле селевых процессов [Костенко, Сейнова, 1982]. Проводились работы по активному воздействию в очагах селеформирования [Болов, 1984].

Исследования инженерно-геологического строения в районе Тырныауза с маршрутными и аэровизуальными обследованиями, большим количеством горнопроходческих работ, опробованием грунтов, геофизическими исследованиями погребенных льдов, проведены Кабардино-Балкарской геологоразведочной экспедицией при инженерно-геологической съемке. В период 1978–1980 гг. в районе г. Тырныауза проводилась специализированная комплексная инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка с картографированием четвертичных отложений масштаба 1:50000 на площади 500 км², с целью определения степени селеопасности и оползнеопасности территории (М.Д. Докукин, А.В. Загрядская, Н.П. Стрешнева, Е.Ю. Шегай). Составлены карты четвертичных отложений с элементами геоморфологии, инженерно-геологических условий развития ЭГП, схематическая геолого-гидрогеологическая, инженерно-геологического районирования. М.Д. Докукиным в 1980 году предложен комплекс мероприятий по защите хозяйственных объектов от вредного воздействия экзогенных геологических процессов. Указанный автор разработал также эволюционную модель формирования гляциальных селей по р. Каяарты-Су, составил карту-схему развития селевых процессов в приледниковой зоне северного склона Центрального Кавказа масштаба 1:100000 [Докукин, 1987в].

В период с 1983 по 1999 гг. количество полевых исследований селевой опасности уменьшилось. Работы, выходящие в эти годы, преимущественно отражали ранее накопленный материал. В 1997 году вышла монография И.Б. Сейновой “Селевые процессы бассейна р. Баксан в последнем тысячелетии (Центральный Кавказ)”, где содержатся детальные сведения о большинстве бассейнов Баксанской долины [Сейнова, 1997].

С середины 1960-х гг. о селях Центрального Кавказа написан ряд сводных работ и монографий [Сели в СССР..., 1964; Тушинский и др., 1966; Каталог..., 1969; Эрозия..., 1970; Защита..., 1972; Селеопасные районы..., 1976; Опасные..., 1983; Агибалова, 1983; Сейнова, 1997; Перов, 1989; Сейнова, Золотарев, 2001],

содержатся библиографические сводки [Власов, Крапчинникова, 1969] и кадастровые карты [Кадастр лавинно-селевой опасности Кабардино-Балкарской Республики, 2001, Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа, 2001]. Различные аспекты селевой проблематики Центрального Кавказа разрабатывались в ряде диссертаций [Ермаков, 1964; Ковалев, 1966; Сейнова, 1970; Хворостов, 1996; Балдина, 1994; Докукин, 1993], а также дипломных работ С.С. Черноморца [1988], Д.А. Парамонова [2001].

Следует упомянуть также результаты длительных стационарных исследований в сопредельном районе – на южном склоне Большого Кавказа, в результате которых накоплен очень ценный опыт методики исследований в сходных с северным склоном условиях [Хмелева и др., 2000].

Вопросы оледенения и селевой активности рассмотрены в монографии И.Б. Сейновой и Е.А. Золотарева [2001].

Предпринималось несколько попыток разработать методику прогноза селей в высокогорье. В районе Эльбруса имеется ряд горных метеорологических станций и постов: станция Терскол (2141 м), пост Тырныауз (абсолютная высота 1275 м). Ранее работали метеостанции Пик Терскол (3050 м), Бермамыт (2588 м), пост Тегенекли. Сезонные наблюдения в селеопасный период проводились на временных метеопостах в бассейнах Герхожан-Су (в 1976–1979 гг. – на высоте 1700 м, в 2000–2001 гг. – 1650 и 2450 м), Адыл-Су (ежегодные наблюдения с начала 1970-х гг., высота 2640 м). Непрерывный ряд метеорологических наблюдений на метеостанции Терскол, расположенной в верховьях реки Баксан, дает определенные возможности для расчета температур воздуха и, в меньшей степени, осадков на материале изучаемой территории. Природно-техногенные сели, возможности их мониторинга, прогнозирования и активного воздействия на селевые очаги в бассейнах Большого и Малого Мукуланов изучались И.Я. Боярским, В.Р. Боловым, И.Б. Сейновой и другими исследователями [Боярский, Семивол, 1979; Болов, 1984; Сейнова, 1997].

Методика долгосрочного прогноза тренда селевой активности, построение формулы краткосрочного фонового прогноза схода селевых потоков и рекомендации к оперативному прогнозу разрабатывалась Ю.Б. Андреевым, С.А. Берковичем, И.К. Кононовой, И.В. Мальневой, В.А. Светлосановым, И.Б. Сейновой, И.И. Татьян [Сейнова, Татьян, 1977; Андреев, Сейнова, 1984; Мальнева и др., 1985, 1988; Андреев и др., 1990; Сейнова и др., 1998]. Вопросы прогноза селей района Тырныауза с учетом метеорологических данных 2000 года рассмотрены И.И. Мальневой и Н.В. Кононовой [Анализ..., 2001; Мальнева, Коконова, 2001]. Основой для прогнозирования послужили представления об элементарных циркуляционных механизмах, разработанные Б.Л. Дзержевским [1968].

Из топонимических карт района имеются карты государственной съемки в масштабе 1:50000 1959 и 1990 гг. В 1959 году составлены топографические карты в масштабе 1:25000. Отдельные участки селевых бассейнов, преимущественно в

зоне проектирования селезащитных мероприятий, отсняты в масштабах 1:10000–1:2000.

На изучаемой территории неоднократно проводились аэрофотосъемки с вертолета и самолета. Так, например, для бассейна Камык-Су мы располагаем информацией о воздушных съемках 1957, 1974, 1977, 1978, 1980, 1987, 1990, 1997 и 2000 годов.

2.3. Селевые катастрофы Центрального Кавказа

2.3.1. Границы района детальных исследований

Центральный Кавказ включает в себя часть горной области Большого Кавказа, ограниченной поперечными сечениями через Эльбрус и Казбек [Гвоздецкий, Голубчиков, 1987; География России, 1998].

Российская часть Центрального Кавказа относится к территориям Кабардино-Балкарской Республики и Республики Северная Осетия-Алания. Для детальных исследований выбраны селевые катастрофы и их последствия на части российской территории Центрального Кавказа, в бассейнах рек Баксан (Кабардино-Балкария) и Геналдон (Северная Осетия).

В долине Баксана зафиксированы Джаловчатская (1940 г.), Куллумкольская (1983 г.), Герхожанские (наиболее значительная – 2000 г.), Башкаринские (1958, 1959 гг.) селевые катастрофы, изучение которых требует разработки специальной методики. Долина Геналдона известна катастрофическими событиями 1902 и 2002 годов.

2.3.2. Селевые катастрофы в долине реки Баксан

Наиболее крупные сели в Кабардино-Балкарии достигают объема в несколько миллионов кубических метров. Согласно исследованиям И.Б. Сейновой [Сейнова, Золотарев, 2001, а также устное сообщение], М.Д. Докукина [Докукин, 1993] и собственным данным автора, в Кабардино-Балкарии зафиксированы сели объемом более 1 млн. м³ в бассейнах рек Малка (приток Бирджалы-Су), Баксан (притоки Герхожан-Су, Адыр-Су – долины Джаловчат и Куллумкол-Су, Адыл-Су, а также, возможно, Азау и Кубасанты), Чегем (притоки Кору, Сырын-Су, Джайлык-Су, а также собственно Чегем), Черек (Гара-Су, Жиришки-Су, Измялцы-Су, Тютюн-Су). Пример следов крупного селя на р. Измялцы-Су приведен на рисунке 2.1.

В бассейне Баксана катастрофическими были сели в долинах Герхожан-Су (разрушения в 1960, 1961, 1962, 1977, 1999 годах, жертвы и разрушения в



Рис. 2.1. Следы селя объемом более 1 млн. м³ в долине р. Измялцы-Су (бассейн р. Черек Балкарский). Фото 29 июня 1990 г.

2000 г.), Джаловчат (уничтожение альплагерей “Сталь” и “Молния” 1–3 августа 1940 г.) [Ковалев, 1957], Куллумкол-Су (разрушение альплагеря “Джайлык” 19 июля 1983 г.) [Запороженко, 1985], Адыл-Су (разрушение построек альплагерей после прорыва оз. Башкара летом 1958 г.) [Ковалев, 1962]. Гибелью людей также сопровождался не очень значительный по объему сел по р. Камык-Су в 1937 г., унесший жизни 4 человек [Запороженко, 2002]. Разрушения в селении Верхний Баксан (ранее – Урусбиево) принесли потоки по рекам Сылтран-Су в 1881 г. [Тепцов, 1892] и Кыртык в 1967 г. [Сейнова, 1997]. Обзор катастрофических селей долины р. Баксан составлялся В.А. Герасимовым [Герасимов, 1968], В.А. Золотаревым и И.Б. Сейновой [Золотарев, Сейнова, 1997]. М.Д. Докукин выявил связь катастрофических селепроявлений с определенным морфологическим типом аккумулятивных образований – моренными пьедесталами [Докукин, 1993].

После Тырныаузской селевой катастрофы в июле 2000 г., когда город Тырныауз превратился в “Кавказскую Венецию”, стала очевидной необходимость осуществления геоэкологического мониторинга селевой опасности. Исследования бассейна проводились специалистами Высокогорного геофизического института [Аджиев и др., 2002; Машуков и др., 2002], Тырныаузской геологоразведочной экспедиции (С.Д. Джубуев, 2001 г.), Территориального центра “Каббалгеомониторинг” [Барановский, Ульбашев, 2000]. Институт “Севкавказгидрохаз” подго-

товил рабочий проект "Восстановительные работы по селепропускному сооружению по реке Герхожан в городе Тырнауз, КБР", по которому осуществлено строительство нового лотка и прорези в селевых отложениях 2000 года. По заданиям различных ведомств, в работах по исследованию селеопасности принимала группа исследователей под руководством автора. Результаты работ изложены в публикациях [Черноморец, 2003а; Крыленко и др., 2001а, б, 2002а–в, 2004; Парамонов и др., 2001].

2.3.3. Селевые катастрофы в долине реки Геналдон

Неоднократные селевые катастрофы в Осетии происходили в бассейне р. Геналдон. В верховьях бассейна находится ледник Колка. В 1902 году обвал ледника со склона г. Джигарай-хох, входящей в Казбекско-Джигарайский горный массив, вызвал перемещение ледово-селевой массы объемом в десятки миллионов м³. Похожий случай произошел в Геналдонском ущелье в 30-е годы XIX века [Штебер, 1903].

Ледово-селевой поток 1902 г. уничтожил постройки и погубил десятки человек [Пагирев, 1902]. Объем вовлеченной в поток массы льда оценивался Н.В. Поггенполем в 70–75 млн. м³ [Поггенполь, 1905]. В 1969 г. произошла подвигка ледника Колка, который за 4 месяца выдвинулся вниз по долине на 4 км. В связи с холодными метеословиями, селевая катастрофа не произошла. В период угрозы в 1970 г. были разработаны мероприятия по защите населенных пунктов от возможной катастрофы [Запороженченко, Сиников, 1997].

Крупнейшая в начавшемся XXI веке гляциальная катастрофа произошла в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г. [Давыдов, 2002; Осокин, 2002а; Самарина, 2002; Поповнин и др., 2003]. В результате скальных обвалов и обрушения висячих ледников со стены г. Джигарай-хох с высоты около 4000 м на ледник Колка, произошел быстрый "сход" ледово-каменной массы ледника Колка с перелестом через язык ледника Майли, с дальнейшим движением объединенных ледовых масс вниз к руслу реки Геналдон. Скорость движения потока была очень высокой. Ледово-водно-каменные массы достигли скального каньона и "Кармадонских ворот" в районе Скалистого хребта. Узкий каньон прошла жидкая грязе-каменная часть селя, а основная часть ледовой массы остановилась. Общая протяженность ледового затора составила около 4 км, при ширине от 500 м до 1 км (в районе слияния рек Геналдон и Кауридон).

На месте ледника Колка, по краям остановившейся массы льда в долине р. Геналдон, по р. Кауридон у с. Старая Саниба, в устье р. Геналдон после катастрофы образовались новые озера. Погибшими и пропавшими без вести числятся более 125 человек.

Выводы

Селевые явления Центрального Кавказа изучаются с XIX века, когда появились в высокогорной зоне линии коммуникаций стали разрушаться вследствие активных природных процессов. За прошедший период накоплены значительные знания в области изучения селей и некоторый опыт защиты от них.

Катастрофические сели Кабардино-Балкарии, по сравнению с мировыми аналогами, являются средними и крупными, но не гигантскими. Объем их на данном этапе развития оледенения и вулканизма достигает нескольких миллионов кубических метров. Это на 1–2 порядка меньше, чем выдающиеся потоки в Гималаях, Кордильерах и Андах. Вероятно, они в несколько раз меньше лахаров, сходивших на Центральном Кавказе во время плейстоценовых извержений Эльбруса. Судя по находкам валунов на подгорных равнинах [Кожевников, 1985], возможно, и гляциальные невулканические сели прошлого в долине Баксана в отдельные периоды также были больше современных по объему в несколько раз.

Однако и этих объемов оказывается достаточно, чтобы в густонаселенной долине Баксана сели регулярно приносили ущерб хозяйству и иногда влекли за собой трагические последствия.

В Геналдонском ущелье в Северной Осетии объемы перемещенного в периоды катастроф вещества являются гигантскими по любым мировым меркам. Катастрофы имеют сложный механизм формирования, в котором участвуют обвалы, селевые потоки ледово-каменного и грязекаменного типов, формируются озера.

Большинство исследований катастрофических селей проводилось в период сразу после схода селей или короткое время спустя. Динамика процессов в селевых очагах после катастроф остается, к сожалению, почти неизученной. Поскольку селевые катастрофы, по-видимому, будут происходить и в будущем, снижения ущерба и минимизации жертв можно достичь только с помощью мониторинга процессов, проведения исследований и разработки специальных защитных мероприятий.

Глава 3

МОРФОЛИТОДИНАМИКА СЕЛЕВЫХ ОЧАГОВ ПОСЛЕ ГЕРХОЖАНСКОЙ КАТАСТРОФЫ 2000 ГОДА

Бассейн реки Герхожан-Су является источником периодических катастрофических селей, наносящих значительный ущерб городу Тырныаузу. Устье р. Герхожан-Су находится в черте города. За время существования города разрушительные селевые потоки на его территории отмечались в 1937, 1960, 1961, 1962, 1977, 1999 и 2000 годах. Небольшие сели в бассейне зафиксированы в 1965, 1975, 1983, 1995 и 2002 гг. Сели 18–25 июля 2000 г. оказались наиболее катастрофическими за всю историю Тырныауза. По официальным данным, погибло 8 человек, полностью разрушено несколько многоквартирных домов. В месте впадения р. Герхожан-Су в р. Баксан произошло образование подпрудного озера, и центральная часть города осталась без крова. В течение длительного времени передвижение между домами было возможно только с помощью плавсредств и вертолетов МЧС. Вследствие затопления города и уничтожения селем автодорожного моста через Герхожан-Су, было прервано дорожное сообщение с Приэльбрусьем. Ущерб от селей, по одному из расчетов, приводившихся в периодической печати, составил около 4 млрд. рублей.

3.1. Характеристика территории

3.1.1. Географическое положение и рельеф

Бассейн реки Герхожан-Су, правого притока Баксана, занимает площадь около 75 км² [Герасимов, 19676]. Средний многолетний расход воды в реке Герхожан-Су составляет 1,11 м³/с [Тушинский и др., 1966], но в летнее время расход зачастую превышает 5 м³/с. Собственно река Герхожан-Су начинается после слияния двух ее составляющих – рек Каяарты-Су и Сакашили-Су (рис. 3.1). Высшая точка бассейна р. Сакашили-Су имеет высоту 4149 м, бассейна р. Каяарты-Су – 4126 м.

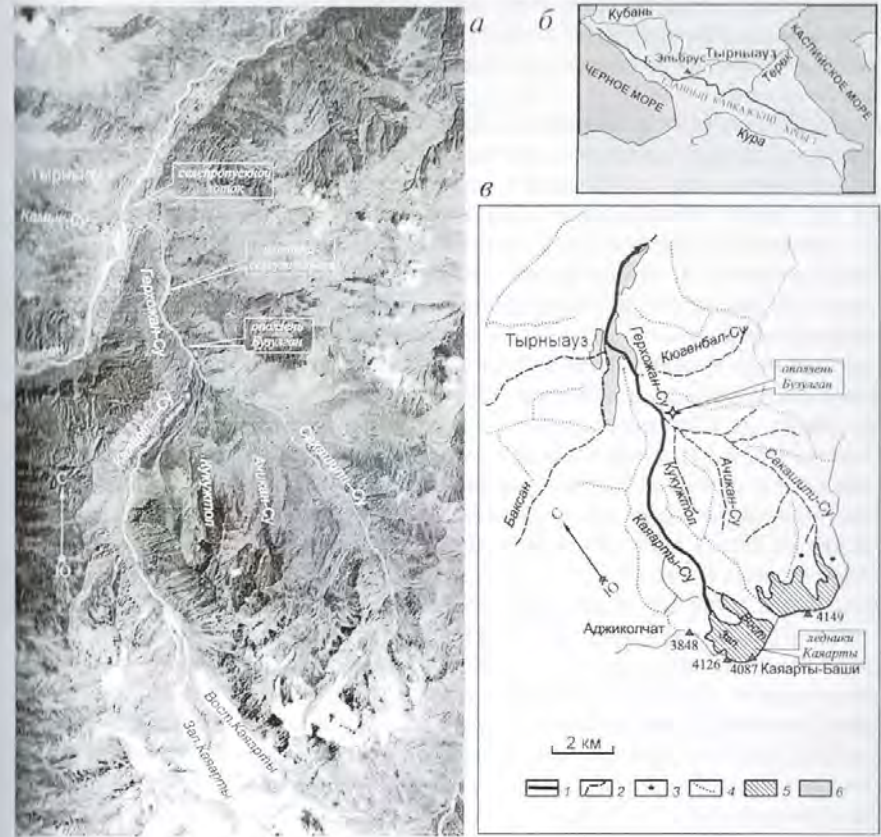


Рис. 3.1. Долина реки Герхожан-Су и город Тырныауз
а – вид из космоса за 11 дней до селя 1999 г. (стадия предкатастрофической подготовки). Космический снимок Landsat ETM+; б – географическое положение г. Тырныауза на карте Кавказа; в – схема участка исследований Герхожан-Су: 1 – путь движения селей 2000 г., 2 – реки, 3 – приледниковые озера, 4 – горные хребты, 5 – ледники, 6 – застройка г. Тырныауза

В верховьях р. Каяарты-Су преобладают альпинотипные формы рельефа. Ледники занимают здесь 3,6 км², или 18% общей площади водосбора в 20 км². Высота истока Каяарты-Су около 3400 м, устье находится на высоте 1234 м. Основную часть бассейна реки Сакашили-Су занимают среднегорные участки. При общей площади водосбора в 36,2 км², ледники в этом бассейне занимают 7% от площа-

ди (2,6 км²). На современном этапе ледники обеих долин деградируют, положение фронта ледников определяется с трудом. Отступление ледников приводит к появлению свежих моренных отложений, являющихся потенциальными селевыми массивами.

Большинство селевых очагов долины Сакашили-Су расположено в верховьях. У периферии ледников развиты термокарстовые процессы, вследствие которых образуются долговременные и эфемерные озера. Прорыв одного из озер диаметром около 100 м, находящегося в "кармане" морены в 0,4 км от фронта ледника, произошел, видимо, в середине 1990-х гг. Единовременное падение уровня озера составило 7 м. Поскольку основная масса озерной воды после прорыва задержалась перед следующей моренной перемычкой, крупный селя при этом не образовался, и дальнейшая разгрузка воды постепенно происходила сквозь толщу моренных отложений. Ниже перемычки отмечены недавние селевые врезы в моренном уступе, расположенном в 1,5 км от фронта ледника.

Почти все сели, достигавшие г. Тырнауза, зарождались в верховьях Каяарты-Су. Поэтому дальнейшее описание ограничено долинами Каяарты-Су и собственно Герхожан-Су. Источником твердого материала для зарождения селей является комплекс морен ледников Каяарты, источником жидкой составляющей – таяние ледников и погребенных льдов, воды р. Каяарты-Су, частично дожди и таяние снега.

Для удобства описания, долина Каяарты-Су – Герхожан-Су разделена на три части: 1) Приледниковый участок формирования катастрофических селей. На участке протяженностью около 4 км расположены языки ледников Западный и Восточный Каяарты, у периферии которых формируются небольшие сели, наносоводные паводки, водоснежные потоки. Ниже задров находится селевой каньон (зона катастрофических разрушений) с примыкающим каменным глетчером. Ниже каньона потоки проходят поле аккумуляции протяженностью около 1 км, задерживающее часть твердой составляющей селей. 2) Участок селевого русла, где в 2000 г. произошло формирование единого нового селевого вреза, наложенного на участки вреза и аккумуляции предыдущих лет. В пределах участка имеются два отрезка русла со скальным дном – так называемые Верхнее и Нижнее ущелья, протяженностью в сотни метров, и крупный оползень Бузулган. 3) Конус выноса Герхожан-Су и зона аккумуляции селей в долине Баксана ниже устья Герхожан-Су.

3.1.2. Селевая активность в последние десятилетия

Селение в устьевой части долины р. Герхожан-Су существовало по меньшей мере с конца XIX века [Тепцов, 1892]. Оно было небольшим, находилось высоко над руслом, поэтому сели, видимо, не причиняли селению значительного ущерба.

бл. Большое строительство в устье Герхожан-Су началось в конце 1930-х гг. после открытия Тырнаузских месторождений сурьмы, молибдена и вольфрама [Семочкин, 2001]. В связи с освоением месторождений началось активное изучение территории.

Документально селевой поток по Герхожан-Су впервые был зафиксирован в 1937 году. Первые исследования селевой опасности бассейна были проведены в 1950-е гг. специалистами института "Гипроникель" (В.И. Титов, 1953–1956 г.). Сход селевых потоков на г. Тырнауз 1 августа 1960 г., 14 августа 1961 г. и 31 июля 1962 г. описан в "Материалах по стихийному бедствию в г. Тырнаузе, КБ АССР, вызванному селевым потоком р. Сакашили-Су (1960, 1961, 1962 гг.) Тырнаузским комбинатом и публикациях Высокогорного геофизического института [Герасимов, 1967а, б]. Обследование с целью проектирования селезащиты города проводилось институтом "Южгипроводхоз" (ныне "Севкавгипроводхоз") (С.В. Щепкин, 1957, 1961, 1963 гг.). Вначале предполагалось, что сели 1960 и 1961 гг. были вызваны прорывом моренного озера, а сели 1962 г. – прорывом шпруды в селевом каньоне.

В 1963 году экспедицией МГУ под руководством Г.К. Тушинского были проведены фототеодолитная съемка ледников Каяарты и приледниковых территорий масштаба 1:10000. Результаты исследований отражены в отчете "Условия образования гляциальных селей долины р. Герхожан-Су, их прогнозирование и рекомендации по борьбе с селями" (1964 г.). Установлен непрорывный генезис селевых потоков, высказана гипотеза о накоплении водной составляющей селя в ледниковых "стаканах" на поверхности ледника. Моренные отложения ледников Каяарты приобретали свойства текучести вследствие избыточного увлажнения грунтов [Тушинский и др., 1966]. Исследования изменения рельефа морен в зоне формирования гляциальных селей по данным аэрофотосъемки показали, что даже в неселевые годы очаг зарождения селей отличается более интенсивным выносом материала, чем соседние, однотипные по природным условиям, участки [Голубев, 1964, 1966; Голубев, Лабутина, 1966].

Условия образования селевых потоков изучались в 1964–1965 гг. селевым отрядом Кабардино-Балкарской геологоразведочной экспедиции. В ходе инженерно-геологической съемки масштаба 1:25000 были выявлены очаги зарождения селей, определены зоны транзита и подпитки. На ключевых участках съемка проводилась в масштабе 1:10000. Внутри тела морены геофизическими исследованиями была обнаружена толща погребенных льдов мощностью до 25 м, в селеопасный период изобилующая заполненными водой трещинами и пустотами [Сейнова, Рубцов, 1967; Рубцов, Сейнова, 1968].

Сели 10–11 августа 1977 г. изучались экспедициями Московского университета и Высокогорного геофизического института [Флейшман и др., 1979; Золотарев и др., 1982; Герасимов, 1980, 1981, 1985]. Была сделана повторная фототеодолитная съемка с базисов 1963 года, отражающая состояние селевого каньона до и

после селя 1977 г. [Золотарев и др., 1982]. Основной причиной схода селя было названо нарушение прочностных связей в морене и быстрая подвижка ее поверхности. Хотя сел сформировался во время ливня, подготовка грунтов к нему происходила в течение нескольких дней теплой солнечной погоды без осадков [Флейшман и др., 1979]. После селя 1977 г., проводилась инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка масштаба 1:50000 с целью определения степени селеопасности и оползневой опасности территории (М.Д. Докукин, А.В. Заградская, Н.П. Стрешнева, Е.Ю. Шагай, 1980 г.). Границы распространения линзы погребенного льда ниже ледников Каяарты были уточнены. Большое внимание М.Д. Докукиным было уделено оползню Бузулган, расположенному в долине реки Герхожан-Су и являющемуся одним из основных участков подпитки селей. Небольшие сели в верховьях долины р. Каяарты-Су отмечались в начале 1980-х гг. Так, в 1983 г. был зафиксирован факт прорыва внутриморенного водоема емкостью 10–15 тыс. м³. Поток, насыщенный мелкоземом, продолжался около 4–5 часов; по величине расхода он значительно превышал сток с ледника [Докукин, 1985].

С середины 1980-х годов до 1999 г. новых полевых исследований в бассейне почти не было. В течение 12 лет по проекту института “Армнигипроцветмет” на р. Герхожан-Су строилась плотина – “селеуловитель”. Через 2 месяца после ее достройки, первый же сел 20 августа 1999 г. разрушил эту плотину. По материалам специалистов центра “Каббалктеомониторинг”, перед плотинной образовалось подпрудное “озеро” из селевого материала объемом около 100 тыс. м³, а затем произошел прорыв подпруды и частичное заполнение селепропускного лотка в г. Тырнаузе [Барановский и др., 2000]. Ширина конуса выноса в пределах г. Тырнауза составила 200 м. Объем грязекаменной массы на площади конуса выноса оценивается в 1 млн. м³. Были повреждены линии электропередач, связи, асфальто-бетонные дороги, газопровод, дома и хозяйственные постройки, городской водозабор.

История селей в бассейне Герхожан-Су детально разобрана в статьях Э.В. Запорожченко [Запорожченко, 2001а–в, 2002].

Самым значительным катастрофическим событием в долине Герхожан-Су была серия селевых потоков 18–25 июля 2000 г., которые являются предметом рассмотрения в данной главе.

Территория долины р. Герхожан-Су покрыта топографическими съемками масштаба 1:25000. Государственная топографическая съемка осуществлена в конце 1950-х гг. Изменения рельефа в приледниковой зоне, происшедшие с тех пор, на новых государственных картах не учтены. На приледниковую часть в верховьях р. Каяарты-Су составлялись топографические карты масштаба 1:10000 – в 1963 г. И.А. Лабутиной и в 1977 г. Е.А. Золотаревым. Вдоль русла в нижней части бассейна имеются съемки масштаба 1:2000, проведенной объединением “Геомаркет” в 2000 г. Однако сели 1999 и 2000 гг. и последующие эпикатастрофические изменения привели к значительной перестройке дна долины (рис. 3.2), и имеющие

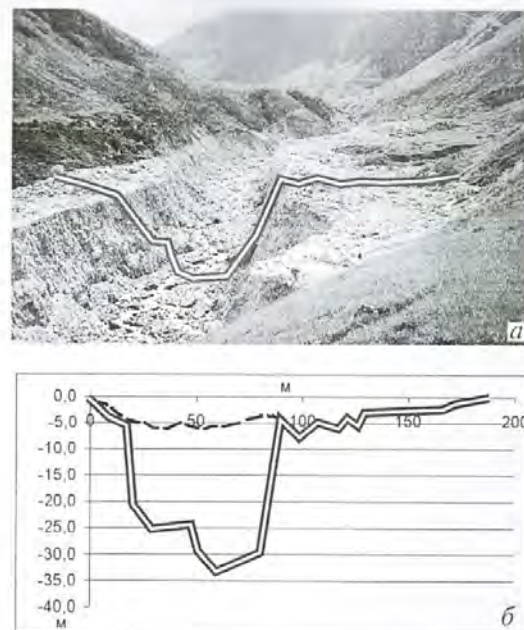


Рис. 3.2. Изменение структуры литодинамических зон и направленности процессов в среднем течении реки Каяарты-Су

Брошенное старое русло на бывшем участке аккумуляции селей до 1999 г. и новое русло, сформировавшееся после селей 18–25 июля 2000 г.: а – снимок от 27 сентября 2000 г. (фото И.В. Крыленко), б – поперечный профиль по данным геодезической съемки. Пунктиром показан профиль дна до катастрофы 2000 г.

ся карты не отражают его нынешнего состояния. Нестыковка высот на участках селевых очагов достигает нескольких десятков метров по сравнению с государственной топографической картой.

Долина р. Герхожан-Су является одним из наиболее изученных селевых объектов в России. Составленный нами список работ, посвященных изучению долины, насчитывает более 150 названий. Анализ публикаций показывает, что, несмотря на значительное количество исследований селей в долине р. Герхожан-Су, отсутствует целостная картина развития селевых процессов в ней. Исследования проводились эпизодически, разными организациями по собственным программам. В результате катастрофа 2000 года оказалась не предсказанной не только по времени, но и по масштабам, что привело к гибели людей, уничтожению жилых зданий и селезащитных сооружений. Кардинальная перестройка системы селевых очагов в долине требует выявления особенностей и динамики произошедших изменений.

3.2. Методика исследований

3.2.1. Полевые инженерно-геологические и геодезические работы

В долине р. Герхожан-Су нами были проведены специализированные полевые исследования. В 1998 работы заключались в рекогносцировочном обследовании верховьев долины р. Каяарты-Су. В 2000 г. автор в составе группы специалистов находился в г. Тырныаузе во время последней волны селей с 24 на 25 июля. Затем, по заданию МЧС, 26–30 июля были обследованы верховья бассейна и проведены первые послекатастрофические съемки характерных участков, послужившие затем основой для размещения точек мониторинга. В период с 22 по 27 сентября 2000 г. экспедиционный отряд под руководством автора провел геодезические измерения и маркировал реперы на границах поперечных профилей. В декабре 2000 г. изучалось состояние очагов в нижней части бассейна. В июне–августе 2001 г. и августе 2002 г. проводились инженерно-геологические, геокриологические и гляциологические маршрутные исследования на высотах до 3600 м, маркировка новых реперов на поперечных профилях, повторные нивелировки и геодезические измерения, повторные съемки с закрепленных точек фотосъемки, фототеодолитная и цифровая стереосъемка очагов [Крыленко и др., 2001а, б, 2002, 2004; Парамонов и др., 2001].

Выбор точек, с которых проводился мониторинг селевых очагов, был обусловлен необходимостью выполнить детальные исследования на наиболее динамичных участках. Созданная в период полевых работ 2000–2002 гг. сеть мониторинга включала несколько типов объектов, маркированных на местности:

1. Поперечные профили селевого русла и прилегающих к нему бортов, на которых А.А. Алейниковым и И.В. Крыленко проводились повторные геодезические съемки, а также измерение величины отступления бровок.

2. Базисы фототеодолитной съемки – пары закрепленных точек, с которых проводилась фототеодолитная съемка и геодезические измерения. Базисы фототеодолитной съемки 01 и 06 созданы в 1963 г. И.А. Лабутиной в период работы экспедиции МГУ под руководством Г.К. Тушинского [Тушинский и др., 1966]. Впоследствии с тех же точек Е.А. Золотаревым была осуществлена съемка в 1977 г. [Золотарев и др., 1982]. Фототеодолитная съемка УЦИГМ проводилась А.А. Алейниковым в 2003 г., для чего в дополнение к базисам 1963 г. созданы новые базисы. Для привязки точек к общеземной системе координат использовались приемники глобального спутникового позиционирования (GPS) моделей Garmin 12 и Garmin ETrex. На точках фототеодолитной съемки одновременно проводилась цифровая съемка и съемка обычной фотокамерой.

3. Базисы цифровой стереосъемки – пары закрепленных точек, взаимно привязанных с помощью геодезических измерений. Абсолютное положение

точек определено также с помощью GPS. Стереосъемка проводилась О.В. Тутубалиной, а геодезические работы – А.А. Алейниковым и И.В. Крыленко.

4. Точки повторной фотосъемки – маркированные точки, с которых несколько раз проводились фотосъемки обычной камерой. Привязка точек проводилась с помощью GPS, азимут съемки определялся при помощи компаса.

5. Площадки для изучения криогенных процессов. На них установлены группы металлических и деревянных реперов, по смещению которых и изменению нанорельефа между ними исследовалась динамика поверхности моренного комплекса.

6. Уровенный пост для измерения уровня озера (долина р. Сакашили-Су, создан в июле 2001 г.).

7. Временный метеорологический пост в верховьях р. Каяарты-Су (измерения проводились в течение недели в августе 2001 г.).

Маркировка реперов проводилась масляной краской (рис. 3.3). В местах, где созданные в 2000–2001 гг. реперы были смещены при подрезке склона или образовалась угроза их уничтожения селевыми потоками (рис. 3.4), создавались дополнительные реперы. На площадках для изучения криогенных процессов устанавливались покрашенные металлические и деревянные штыри.



Рис. 3.3. Закрепление на местности точек мониторинга путем создания марок перед съемкой селевых очагов в долине Каяарты-Су



Рис. 3.4. Маркированный валун, частично занесенный склоновым микроселем. 14 августа 2002 г.

Даты фотосъемок и периоды измерений с различных точек мониторинга приведены в таблице 3.1. Точки мониторинга, расположенные в районе каньона Зап. Каяарты-Су, показаны на рисунке 3.5.

Составлены маршрутные описания распределения потенциальных селевых массивов вдоль селевого русла, при этом фиксировались местоположение массива, его характер, тип материала, степень активности склоновых процессов на момент обследования и изменения, произошедшие после селей 2000 г. По результатам геодезических измерений и маршрутных исследований охарактеризованы: форма русла и долины; ширина русла и днища долины; уклоны днища долины, поверхности селевого потока и современного тальвега; глубина вреза по левому и правому берегам. Проведено разделение участков селевого русла на реках Каяарты-Су и Герхожан-Су по комплексу литодинамических характеристик – характер движения селя (врез, транзит или аккумуляция), продольный уклон, состав селевой массы, форма и размеры долины и днища. По материалам нивелировок, проводившихся И.В. Крыленко и А.А. Алейниковым с помощью теодолита, составлены чертежи поперечных профилей. Измерение морфометрических характеристик малых врезов проводилось с помощью рулетки (рис. 3.6). По результатам измерений удалось оценить объем селевого вреза и аккумуляции в пределах каждого характерного участка русла.

Таблица 3.1

Даты фотосъемок и периоды измерений в долине р. Герхожан-Су

Тип	Название точки, площадки	Азимут съемки, градусы	Даты съемки, период измерений ¹
1	2	3	4
ФТ	ФТ 01А	180	1963, 05.08.1977, 11.08.1977, 07.2000, 09.2000, 08.2001, 08.2002
ФТ	ФТ 01Б	170, 190	1963, 05.08.1977, 11.08.1977, 07.2000, 09.2000, 08.2001, 08.2002
ФТ	ФТ 03 А	40, 90, 160	04.07.2001
ФТ	ФТ 03 Б	—	04.07.2001
ФТ	ФТ 03 В	45, 80, 150	04.07.2001
ФТ	ФТ 05А	10, 20, 45, 100	09.07.2001
ФТ	ФТ 05 Б	120, 150	09.07.2001
ФТ	ФТ 06А	100, 120, 140, 160, 200	1963, 08.1977, 07.2001, 14.08.2002
ФТ	ФТ 06Б	70, 90, 110, 130, 140	1963, 08.1977, 07.2001, 14.08.2002
Ф	Ф1	180	28.07.2000, 06.08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф2	190	09.2000
Ф	Ф3	190	26.06.2001, 07.07.2001, 06.08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф4	210	28.07.2000, 26.06.2001, 05.08.2001, 06.08.2001, 25.08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф5	220	08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф6	270	09.07.2001, 07.08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф7	175	26.07.2000, 25.06.2001, 27.08.2001, 11.08.2002
Ф	Ф8	170	21.08.2001, 11.08.2002
Ф	Ф9а	70	1960, 27.07.2000, 26.09.2000, 25.06.2001, 27.08.2001, 11.08.2002
Ф	Ф9б	175	25.06.2001, 27.08.2001, 12.08.2002
Ф	Ф10	170	26.09.2000, 12.08.2002
Ф	Ф11	150	16.08.1998, 23.08.2001, 14.08.2002
Ф	Ф12	160	28.07.2000, 27.06.2001, 23.08.2001, 14.08.2002
Ф	Ф14	5	09.2000, 24.08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф15	270	09.2000, 24.08.2001
Ф	Ф16	340	17.08.1998, 30.07.2000, 26.08.2001
Ф	Ф17	330	30.07.2000, 26.08.2001, 16.08.2002
Ф	Ф18	335	30.07.2000, 28.08.2001
Ф	Ф19	200	25.07.2000, 6.08.2002
Ф	Ф20	70	09.2000, 13.08.2002

Обозначения типов точек: ФТ – станция фототеодолитной съемки, Ф – точка повторной фотосъемки, Т – площадка для изучения криогенных процессов, М – временный метеопост, У – урочный пост.

¹ Съемки до 1998 г.: институт "Гипроникель" (1954 г.), Э.В. Запороженко (1960 г.), И.А. Лабутин (1963 г.), Е.А. Золотарев (1977 г.). Съемки и измерения 1998–2002 гг. в основном выполнены автором, использованы также снимки А.А. Алейникова, И.В. Крыленко, М.Ю. Никитина, А.А. Савостина, О.В. Тутубалиной.

таблица 3.1 (окончание)

1	2	3	4
Ф	Ф21	160	16.08.1998, 28.07.2000, 08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф22	10	16.08.1998, 13.08.2002
Ф	Ф23	50	13.08.2002
Ф	Ф24	250	09.2000, 13.08.2002
Ф	Ф25	10	13.08.2002
Ф	Ф27	220	09.2000, 26.06.2001, 07.07.2001
Ф	Ф28	180	05.08.2001, 13.08.2002
Ф	Ф29	320	1954, 25.07.2000
Ф	Ф30	320	08.1999, 23.07.2000, 12.12.2000
Ф	Ф31	130	23.07.2000, 11.07.2001
Ф	Ф32	30	08.1960, 16.08.2002
Ф	Ф33	160, 90, 30	16.08.2002
Ф	Ф35	160	15.08.1998, 27.09.2000, 16.08.2002
Ф	Ф36	20	17.08.1998, 12.1999, 30.07.2000, 08.2001, 16.08.2002
Т	Т1	—	05.07.2001, 14.08.2002
Т	Т2	—	09.2000, 26.06.2001, 05.08.2001, 14.08.2002
М	Лагерь Верхний Каяарты	—	05–11.08.2001
У	Уровенный пост Нижнего Сакашильского озера	—	02.07.2001

Площадки для изучения криогенных процессов Т-2 и Т-1 показаны на рисунках 3.7 и 3.8. Полевое картографирование новых границ селевого каньона проводилось О.В. Тутубалиной и автором путем обхода бровок, с автоматической записью полученных данных из приемника GPS в карманный компьютер (рис. 3.9), на основе методики, апробированной на географическом факультете МГУ [Жуков, Серапинас, 2002].

3.2.2. Аэроматериалы и их дешифрирование

Для изучения и картографирования зоны зарождения селей в верховьях р. Каяарты-Су было проведено дешифрирование материалов цифровой аэросъемки от 22 сентября 2000 г., отражающих состояние бассейна после прохождения катастрофических селей.

Плановая и перспективная цифровая аэросъемка проводилась с вертолета Ми-8 геологическим факультетом МГУ (М.Ю. Никитин) и Научно-исследователь-

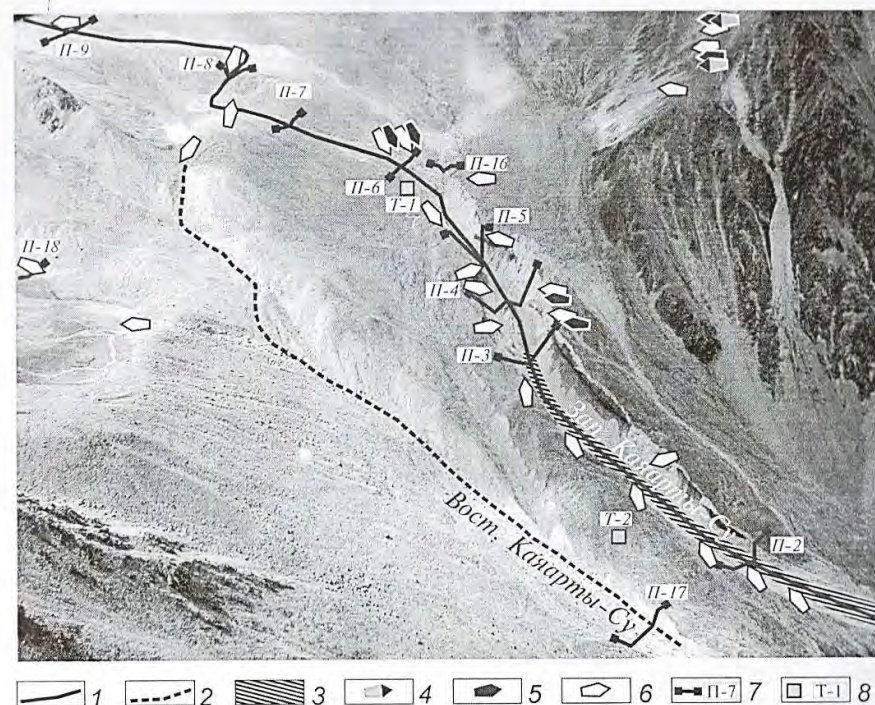


Рис. 3.5. Селевые очаги на моренах ледников Каяарты и размещение точек мониторинга их морфолитодинамики

1 – путь движения селей в 2000 г.; 2 – путь движения селей в 1977 г.; 3 – участок развития микроселей в июле–августе 2000 г. и в июне–августе 2001 г.; 4 – точки фототеодолитной съемки; 5 – точки цифровой стереосъемки; 6 – точки повторной фотосъемки; 7 – поперечные профили и их номера; 8 – площадки для изучения криогенных процессов и их номера. Перспективный аэроснимок выполнен М.Ю. Никитиным 22 сентября 2000 г.

ской лабораторией “Геологоразведчик”. Использовалась камера Nikon Coolpix 950 с широкоугольным конвертером WC-24. Одновременно с аэросъемкой проводилось аэровизуальное обследование бассейна, в котором принимал участие автор. Корректировка маршрута вертолета и указание наиболее важных объектов позволили сделать снимки особо важных участков с малой высоты и при более детальном разрешении.

При дешифрировании условий формирования селей использовались как исходные цифровые аэроснимки, так и их накидной монтаж, составленный



Рис. 3.6. Измерение морфометрических характеристик нового отверстия селевого каньона Каяарты-Су в районе профиля П6



Рис. 3.7. Площадка Т-2 для исследования раскрытия трещин в поверхностном слое морены выше бровки селевого каньона



Рис. 3.8. Площадка Т-1 для изучения криогенных процессов на склоне морены между Западным и Восточным каньонами р. Каяарты-Су



Рис. 3.9. Оперативная полевая съемка с использованием автоматической записи данных спутникового позиционирования (GPS Garmin 12) в память карманного микрокомпьютера Casio Cassiopeia E125

О.В. Тутубалиной. Все снимки получены в формате JPEG с размером кадра 1600×1200 пикселей, в естественных цветах. Разрешение плановых снимков на местности в основном варьирует в пределах 0,5–2 м.

3.2.3. Применение данных космической съемки

Если использование аэроснимков в изучении селей практикуется уже несколько десятилетий [Голубев, Лабутина, 1966, 1968; Садов, 1972, 1978], то космические

снимки до недавнего времени не находили здесь применения. Отдельные попытки, предпринимавшиеся в прошлом (например, [Махорин, Полетаев, 1989]), не позволяют говорить о широком использовании материалов космической съемки. Между тем, хотя, как правило, космические снимки обладают меньшим разрешением, чем воздушные, из-за большой высоты они имеют меньшие искажения. Нами разрабатывалась методика использования космических снимков при изучении селей [Бгатов и др., 1989; Черноморец, 1990а, б]. В последние годы появилась возможность дешифрирования космических снимков высокого пространственного разрешения, которое позволяет анализировать детали строения селевых объектов.

Для мониторинговых работ были заказаны в Геологической Съемке США и получены материалы космической панорамной стереосъемки камерой КН-4В с пространственным разрешением 2 м со спутника CORONA от 20 сентября 1971 г., снимки Landsat 7 ETM+ от 9 августа 1999 г. и Terra ASTER от 15 сентября 2001 г., по которым предприняты попытки использования космической информации в целях мониторинга селевых процессов.

3.2.4. Камеральная обработка полевых данных

На основе полевых исследований, анализа фондовых и литературных материалов, дешифрирования материалов цифровой аэросъемки была создана карта "Очаги зарождения селей в верховьях р. Каяарты-Су на стадии эпикатастрофической адаптации" масштаба 1:10000. Для составления карты была разработана специализированная легенда, отражающая условия формирования селей. Создание карты осуществлялось путем камерального дешифрирования по материалам цветной цифровой аэросъемки с привлечением материалов наземной фотосъемки и маршрутных описаний. Результаты дешифрирования наносились на цифровую топографическую основу, увеличенную до масштаба 1:10 000. Карта отражает состояние зоны зарождения селей на момент аэросъемки (сентябрь 2000 г.). Исправления, сделанные в период полевых работ 2001 и 2002 гг., позволили откорректировать положение контуров.

3.2.5. Способ расчетов объема селевой массы

Для расчета объемов селевого материала, необходимо было разделить бассейны на литодинамические зоны и разработать последовательность операций, позволяющих определить бюджет наносов в пределах поперечного профиля. Методика реконструкции бюджета наносов и объема селевой массы разрабатывалась для небольших бассейнов с неледниковым питанием, не имеющих селевых

притоков [Черноморец, 1988, 1989, 1991]. Для сложно построенных бассейнов с ледниками она была дополнена и модифицирована.

Если для упрощения принять, что в пределах литодинамической зоны объем селевой массы W , прошедшей через сечение, изменяется равномерно ($W' = \text{const}$), и если удастся подсчитать начальное и конечное значения объемов W_{n-1} и W_n на границах n -ной зоны, то объем в промежуточных створах составит:

$$W = W_{n-1} + (L - L_{n-1}) \cdot (W_n - W_{n-1}) / (L_n - L_{n-1}), \quad (1)$$

где L_{n-1} и L_n – координаты верхней и нижней границ зоны по оси L (рис. 3.10а). При денудации $W_n > W_{n-1}$, при аккумуляции $W_n < W_{n-1}$, при транзите значения объемов равны.

Рассмотрим несколько возможных случаев.

Участок конечной аккумуляции на конусе выноса. График изменения объема показан на рисунке 3.10б. Значение W_{n-1} равно суммарному объему отложений селя на конусе. Формула для расчетов объема, после соответствующих преобразований, имеет следующий вид:

$$W = W_{n-1} (L_{n-1} - L) / (L - L_{n-1}). \quad (2)$$

Если распределение мощностей в зоне аккумуляции не является линейным, можно воспользоваться данными повторных геодезических съемок до и после селя. В случае, если такие съемки проводятся, создается цифровая модель рельефа. Вычет высот поверхностей по результатам двух съемок позволяет вычислить объем аккумуляции.

Двузвенный бассейн (сочетание зон Д-А). К данной группе относятся многие простые бассейны с эрозионным механизмом селеформирования. График изменения объема показан на рисунке 3.10в. На участке конечной аккумуляции расчет производится аналогично предыдущему случаю. Для участка размыва можно реконструировать объем по формуле:

$$W = W_{n-1} \cdot (L - L_{n-1}) / (L_n - L_{n-1}). \quad (3)$$

Трехзвенный бассейн (сочетание зон Д-Т-А). В эту группу входят бассейны со скальными участками русел, например с каровой ступенью. На участке транзита $W = \text{const}$, поэтому расчеты не вызывают дополнительных сложностей по сравнению с двузвенным бассейном (рис. 3.10г).

Число литодинамических зон больше трех. В русле имеются несколько разделенных участков размыва. Для реконструкции необходима информация об объемах выноса из этих зон. В случае отсутствия данных возникает элемент неопределенности, и вместо одной ломаной получаем их семейство (рис. 3.10д). Если

Объем, прошедший
через каждый створ в
течение всего селя W , м³

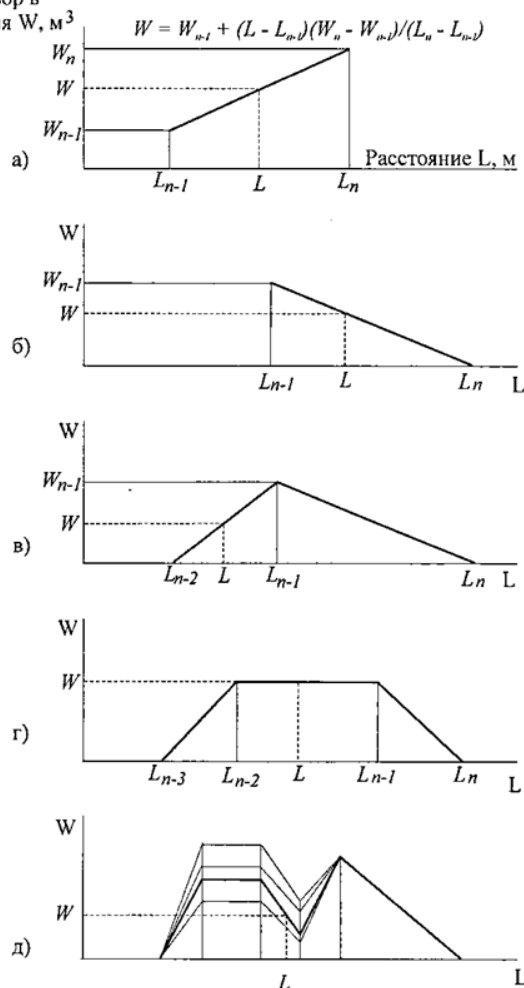


Рис. 3.10. Определение объема селевого материала в различных створах по литодинамическим зонам

a – методика расчета; *б* – конечная зона аккумуляции (А); *в* – двузвенный бассейн (сочетание зон Д-А); *г* – трехзвенный бассейн (сочетание зон Д-Т-А); *д* – число звеньев больше трех: семейство линий вместо одной. Курсивом обозначены текущие значения объемов селевой массы в данном створе и расстояний от точки формирования начального импульса селя

удается получить информацию об участках размыва, график изменения объема твердой фазы селей через каждый створ можно воспроизвести. В общем виде уравнение объема, прошедшего через сечение русла, может быть записано следующим образом:

$$\begin{cases} W = W_0 + (L - L_0)/(L_1 - L_0) \cdot (W_1 - W_0) = W_1 \cdot (L - L_0)/(L_1 - L_0) & \text{при } L \in [L_0, L_1] \\ \dots\dots\dots \\ W = W_k + (L - L_k)/(L_{k+1} - L_k) \cdot (W_{k+1} - W_k) & \text{при } L \in [L_k, L_{k+1}] \\ \dots\dots\dots \\ W = W_{n-1} + (L - L_{n-1})/(L_n - L_{n-1}) \cdot (W_n - W_{n-1}) = W_{n-1} \cdot (L_n - L)/(L_n - L_{n-1}) & \text{при } L \in [L_{n-1}, L_n] \end{cases}$$

Изложенная схема применима в случаях, когда хорошо сохранилась селевая масса в зонах аккумуляции, или имеются данные повторных съемок на денудационную зону до и после катастрофы.

3.3. Морфолитодинамика на разных стадиях цикла

В дальнейшем будут анализироваться изменения в долине Герхожан-Су, изученные в результате проведения мониторинга. Для целостности представления о динамике очагов, на рисунках 3.11–3.18 (см. вклейку), 3.19–3.21 приведены результаты повторных съемок с ряда закрепленных точек в разные периоды. Рисунки расположены в порядке, отражающем расположение участков съемки сверху вниз по долине. В дальнейшем тексте приводятся ссылки на них.

В таблице 3.2 приведены результаты анализа проб заполнителя отложений 2000 года, отобранных на различных участках движения селей¹. В заполнителе можно констатировать относительно низкое содержание глинистой фракции, обусловленное исходным составом отложений, вовлеченных в сели.

3.3.1. Стадия предкатастрофической подготовки

Представления о процессах, происходивших в верховьях долины, дает наше обследование в августе 1998 г. В конце 1980-х – начале 1990-х гг. произошло активное отступление ледников Каяарты, особенно Западного. Перед фронтом ледника образовались массивы замороженных мертвых льдов. В предполье ледника

¹ Отбор проб проводился при участии И.В. Крыленко. Гранулометрический анализ выполнен в Лаборатории грунтоведения геологического факультета МГУ Л.П. Терешковой и М.В. Фламинной.

Состав заполнителя отложений

№ образца	Описание точки отбора	Профиль	Процентное		
			20–10	10–7	7–5
Г7	Точка зарождения первичного импульса селей 2000 г. – оплывина, переходящая в сель, у края ледника Зап. Каяарты.	П9А	24	6	4
Г5	Среднее зандровое поле ниже ледника Зап. Каяарты	П7	1	4	4
Г3	Отложения временного озера на нижней зандровой ступени перед входом в каньон р. Зап. Каяарты-Су	П6	8	6	5
Г4	Останец льдонасыщенного моренного блока, обрушившегося в каньон р. Зап. Каяарты-Су	П4	15	8	5
Г6	Поле селевой аккумуляции ниже главного селевого каньона р. Каяарты-Су	П10	6	10	8
Г1	Отложения селей 2000 г. в районе Верхнего лагеря Каяарты-Су	П10	13	2	3
Г18	Отложения селей 2000 г. на участке фуркации русла р. Каяарты-Су выше нижнего гранитного ущелья	П13	6	6	6
Г8	Стенка отрыва в пределах оползня Бузулган	–	37	16	9

на субгоризонтальных зандровых площадках наблюдалось значительное накопление воды. Моренный грунт отличался тиксотропными свойствами и легко приобретал текучую консистенцию при нагрузке.

Селевой каньон имел глубину до 15–20 м и крутизну бортов до 40°. Открытых выходов льда или льдистого грунта в бортах каньона не наблюдалось (см. рис. 3.13а). Никаких свежих следов селевой активности в 1998 г. не отмечалось.

Остается предметом споров роль селя 1999 г. в изменении строения бассейна, поскольку обследования после селя проводились только в нижней части долины. Вне зависимости от того, считать ли сель 1999 г. самостоятельной катастрофой или составной частью катастрофических преобразований 1999–2000 гг., видимо, роль событий 1999 г. в нарушении сплошности моренных массивов была значительной.

3.3.2. Причины возникновения селей 18–25 июля 2000 года и ход катастрофы

Начальный импульс. Причина первичного импульса, приведшего к возникновению катастрофических селей, вызвала дискуссии среди специалистов. Лето 2000 г. отличалось аномально большими значениями ледникового стока, связанными с экстремально высокими температурами воздуха (по данным наблюдений

2000 года в долине р. Герхожан-Су

содержание фракций, мм											
5	3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	менее 0,001
7	8	14	8	8	3	8	4	1	4	0,4	
10	9	16	10	22	5	16	0,6	0,3	0,3	1,1	
10	11	20	6	14	3	4	6	4	2,4	1,2	
7	7	18	7	10	2	8	4	1	7	1,6	
12	13	26	7	9	1,3	2	1,3	4	1,3	0,8	
6	8	20	18	15	4	0,7	0,5	0,5	2	2,4	
11	12	27	6	14	2,6	6	1	0,6	1	1	
14	7	7	1	2	0,7	2	1,2	1,4	0,1	1,2	

на ледниковом стационаре Джанкуат – самыми высокими с 1968 г.). Перед катастрофой в течение 10 дней стояла жаркая погода. В дневное время, по расчетам специалистов Нальчикского гидрометцентра, нулевая изотерма поднималась до абсолютной высоты 5000 м. Температуры на языке ледника Западный Каяарты были в этот период, по-видимому, положительными круглосуточно. Нет ясности, участвовали ли в формировании селя атмосферные осадки. Грозы в верховьях Каяарты-Су, по наблюдениям жителя Тырныауза Р.Д. Ворожбенко, отмечались 15, 17 и вечером 18 июля. По мнению специалистов Северо-Кавказского управления Гидрометслужбы [Панов и др., 2001], формирование селей происходило без участия ливней.

Наши наблюдения показывают, что волна селеформирующего паводка могла возникнуть вследствие резкой разгрузки внутриледниковых полостей. В пользу этого свидетельствует наличие ледникового грота, расположенного в 150 м выше окончанья языка ледника Западный Каяарты, у его правого края. Ниже грота отмечен врез длиной 80 м, по контакту с мореной отмечены фрагменты селевых террас. В 50 м выше конца языка поток уходил в крупную каверну. Закупорка подледного канала селевой массой (рис. 3.22а) могла привести к накоплению воды в ледниковой полости, объем которой, оцениваемый нами в 10–30 тыс. м³, мог оказаться достаточным для первичного импульса селя. Поток выходил из нижнего грота в виде селевой волны с расходом до 3–4 м³/с (рис. 3.22б). Следствием паводка стала перестройка русловой сети в верховьях Каяарты-Су, на вершней



Рис. 3.19. Оползень Бузулган, подрезаемый рекой Герхожан-Су. Повторные фото с площадки Ф18. *а* – 30 июля 2000 г.; *б* – 28 августа 2001 г.

зандровой ступени (уровень около 3280 м) отмечены следы временного существования мелководного (глубиной 0,1–0,5 м) озера.

Небольшой селя или наносоводный паводок шел от ледника, периодически сбрасывая обломочную массу на выположенных зандровых участках и набирая ее при врезании в ступени между зандрами. При этом происходило насыщение потока тонкодисперсной составляющей из илистых озерных отложений (рис. 3.23).



Рис. 3.20. Формирование нового очага подпитки селей на бывшем участке аккумуляции и плотина-селеуловитель на р. Герхожан-Су

Повторные фотоснимки с площадки Ф36. *а* – 17 августа 1998 г. Плотина не достроена (строительство завершилось в июне 1999 г.); *б* – декабрь 1999 г. Плотина разрушена селом 20 августа 1999 г. Перед разрушением образовалось “озеро” из селевой массы объемом 200–300 тыс. м³, следы которого видны на оставшейся части плотины (фото М.Ю. Никитина); *в* – 30 июля 2000 г. После катастрофы 2000 г. на месте разрушенного участка плотины образовался врез глубиной 20–25 м – новый очаг подпитки селя твердым материалом; *г* – 16 августа 2002 г. Состояние участка через 2 года после катастрофы 2000 г.

В 1998 г. основной сток от верхнего зандра ледника Западный Каяарты к нижнему зандру шел непосредственно через ступень, в обход среднего зандрового поля. Сели 2000 г. (*а*, возможно, еще 1999 г.) привели к изменению каналов стока, и участок русла оказался брошенным. Небольшие изменения в направлении потоков привели к размыву погребенных льдов на участках, где перед этим размыва не было. Выше каньона произошла перестройка гидросети, при этом концентрация стока и катастрофическое развитие событий начались в новом месте.

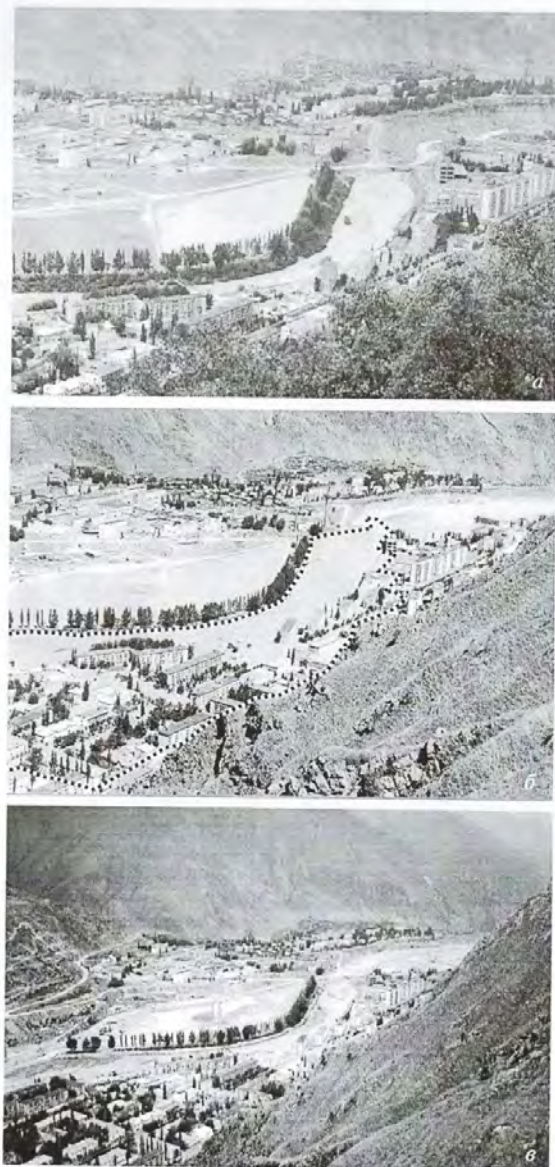


Рис. 3.21. Зона аккумуляции селей, город Тында и эпикатастрофическое озеро на р. Баксан
 а – 17 августа 1998 г.; б – 30 июля 2000 г.; в – 26 августа 2001 г. Границы зоны затопления
 обведены пунктиром. Повторные фотоснимки с площадки Ф16



Рис. 3.22. Место зарождения начального импульса селей 2000 г.

а – полость у правого края ледника Западный Каяарты, в 150 м выше грота. В июле 2000 г. произошли закупорка полости микроселем, сошедшим с береговой морены, накопление в ней воды и последующий прорыв. Состояние на август 2001 г. б – участок, где начался селевой поток после прорыва полости. Следы боковой подрезки селем грота ледника. Состояние на сентябрь 2000 г. Фотоснимок с точки Ф21 (фото Д.А. Петракова). Стрелками показано направление движения потоков в июле 2000 г.



Рис. 3.23. Участок начального движения потоков 2000 г.

Ледники Западный и Восточный Каярты и приледниковая зона. Панорама цифровых снимков с точки ФТ-6Б, с указанием положения поперечных профилей в предполе ледника Западный Каярты. 14 августа 2002 г. Съемка О.В. Тутубалиной

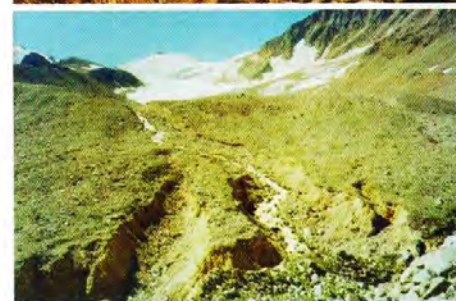
а



б



в



г

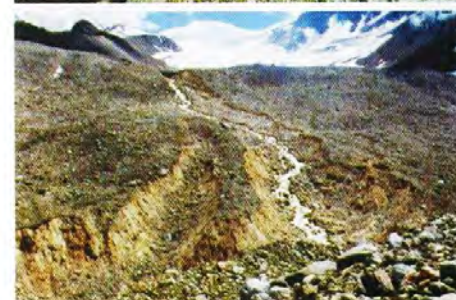


Рис. 3.11. Верхняя часть каньона и предполье ледника Западный Каярты
Повторные фото с площадки ФТ2. а – 28 июля 2000 г.; б – 27 июня 2001 г.; в – 23 августа 2001 г.; г – 14 августа 2002 г.



a



б



в

Рис. 3.12. Верхняя часть каньона р. Западная Каярты-Су.
Повторные фотоснимки с площадки Ф25. *a* – 8 июля 2000 г.; *б* – 24 сентября 2000 г.;
в – 13 августа 2002 г.



a



б

Рис. 3.13. Селевой каньон р. Западной Каярты-Су до катастрофы и через год после нее
Повторные фото с площадки Ф11. *a* – 16 августа 1998 г.; *б* – 23 августа 2001 г.

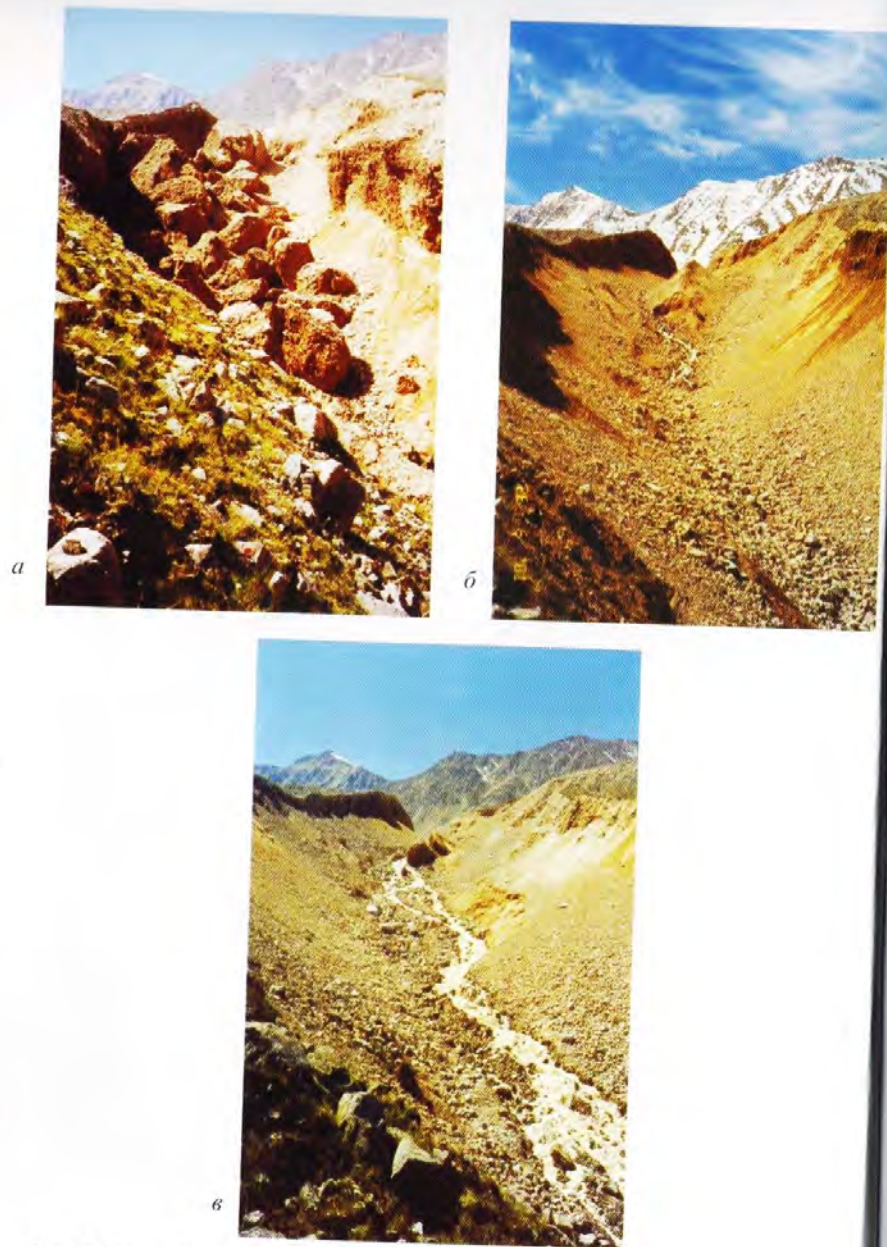


Рис. 3.14. Селевой каньон Каярты-Су
Точка повторной фотосъемки Ф4, а – 28 июля 2000 г.; б – 26 июня 2001 г.; в – 6 августа 2001 г.

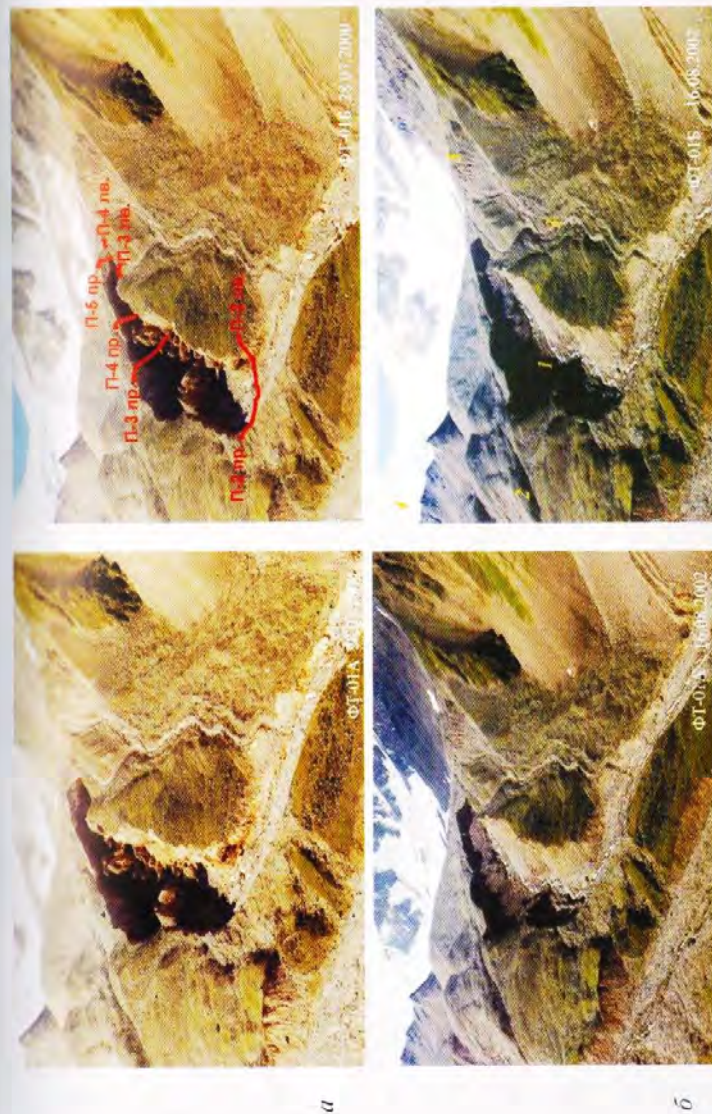


Рис. 3.15. Состояние селевого каньона и моренного комплекса ледников Каярты

Стереопары снимков с базиса ФТ-401 с указанием положения поперечных профилей в нижней части селевого каньона Каярты-Су, а – 28 июля 2000 г. Русло завалено блоками морены, подрезанной селями. В бортах каньона, местами имеющих отрицательный уклон, вскрыты пласты погребенного льда (фото А.А. Алеинкова); б – 16 августа 2002 г. Блоки морены внесены из каньона. Произошло расширение каньона, отступление бровок, частичное выполаживание его бортов, 1 – каньон Зап. Каярты-Су, 2 – старый разрез между Западным и Восточным каньонами, 3 – след склонового микроселя 2002 г., 4 – ледник Зап. Каярты, 5 – каменный глетчер



a



б

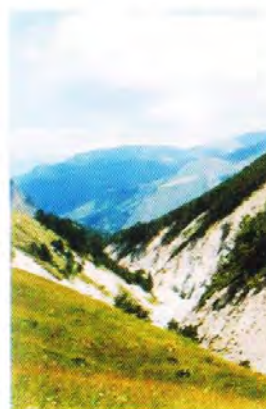


в

Рис. 3.16. Новый врез и брошенное русло в среднем течении р. Каяарты-Су
Повторные фото с площадки Ф9б. *a* – 26 сентября 2000 г.; *б* – 22 августа 2001 г.; *в* – 12 августа 2002 г.



a



б



в



г



д

Рис. 3.17. Участок подпитки селей твердым материалом перед входом в Нижнее ущелье
р. Каяарты-Су

Точка повторной фотосъемки Ф9а. *a* – 1960 г. (фото Э.В. Запороженко); *б* – 17 августа 1998 г. (фото А.А. Савостинова); *в* – 27 июля 2000 г. (фото А.А. Алеиникова); *г* – 26 сентября 2000 г. (фото Н.В. Крыленко); *д* – 11 августа 2002 г.



Рис. 3.18. Участок выхода р. Каяарты-Су из Нижнего ущелья выше слияния с р. Сакашил-Су. Точка повторной фотосъемки Ф35. а – 15 августа 1998 г.; б – 27 сентября 2000 г.; в – 16 августа 2002 г.

Денудация в селевом каньоне. После нижнего заindra (третьего по счету от края ледника), на входе в селевой каньон произошло резкое увеличение мощности селя. В поток был вовлечен водонасыщенный материал с бортов каньона. Резкое врезание русла (см. рис. 3.11, 3.12) привело к нарушению устойчивости правого борта селевого каньона. Началось массовое отседание, обрушение блоков грунта и запруживание русла, с формированием в течение недели (18–25 июля) многочисленных волн селей. Глубина и ширина каньона увеличились более чем в 2 раза. По нашим наблюдениям 27–29 июля 2000 г., в днище каньона находилось около 30 блоков льдистого грунта общим объемом 70–100 тыс. м³ (см. рис. 3.14а, 3.15а). Объем двух самых крупных блоков составлял около 15 и 6 тыс. м³. Небольшие сели в каньоне продолжали ежедневно формироваться после серии главных селей, но не достигали города, поскольку не могли пересечь поле аккумуляции ниже каньона.

Аккумуляция ниже каньона. Поле аккумуляции (в ряде публикаций о долине Герхожан-Су называвшееся “пролювиальным полем” или “внутридолинным конусом выноса”) ниже каньона имеет длину около 600 м. Уклоны здесь резко падают, и значительная часть селевой массы осталась на выположенном участке. Глубина вреза русла не превышала 2–4 м, в основном оставаясь в пределах 1–2 м. В отличие от ситуаций предыдущих лет, в 2000 г. поле аккумуляции ниже каньона было единственным участком значительного отложения селевого материала между каньоном р. Зап. Каяарты-Су и конусом выноса р. Герхожан-Су.

Новый врез. Наиболее заметное отличие селей 2000 г. от всех ранее зафиксированных селей в долине – катастрофическое врезание русла. На протяженных участках был полностью уничтожен доселевой русловой рельеф, произошло изменение планового положения русла (см. рис. 3.16). На многих участках вскрыты скальные породы. Наиболее интенсивная эрозия произошла на центральном участке нового селевого вреза, между Верхним и Нижним ущельями. Вынос твердого материала составил здесь около 1400 м³ на один погонный метр.

Фактически весь этот участок стал новым селевым очагом. Характерно, что раньше здесь участки подпитки селей твердым материалом чередовались с участками промежуточной аккумуляции, и они не были единым очагом.

Подрезание сложенных рыхлыми моренными отложениями склонов в процессе прохождения селей в 2000 г. происходило в пределах верхнего и среднего расширений днища и, наиболее активно, на входе в нижнее ущелье. Здесь был активизирован крупный оползнево-осыпной массив по правому борту долины (см. рис. 3.17).

Нижнее ущелье. Здесь произошло значительное увеличение мощности потоков. Обработка проб отложений 2000 года показала, что после Нижнего ущелья увеличивается доля тонкодисперсных фракций в заполнителе. Поэтому, если в верховьях преобладали водокаменные потоки, то в нижней части долины проходили как водокаменные, так и грязекаменные селевые волны. Дополнительный

разгон потоков происходил на участке со скальным ложем и водопадом (см. рис. 3.18) перед слиянием рек Каяарты-Су и Сакашили-Су.

Оползень Бузулган. У слияния рек Каяарты-Су и Сакашили-Су до 2000 г. находился участок промежуточной аккумуляции, что видно на рисунке 3.18а. Вследствие глубинной селевой эрозии, в этом месте образовался врез глубиной до 15 м со скальным ложем (см. рис. 3.18б). Ниже слияния произошла подрезка и значительная активизация движения примыкающего к руслу р. Герхожан-Су крупного оползня-блока Бузулган (см. рис. 3.19). Оползень расположен на пересечении тектонических разломов. Протяженность его по руслу около 400 м, вдоль склона около 600 м. О роли его в самой трагической для города волне 19 июля, уничтожившей дом на ул. Отарова, писал в 2000 году очевидец С.Д. Джубуев: «Образовались многочисленные трещины отрыва по краям, где контактирует оползень с другими частями массива и в самом оползне. Повсюду наблюдались отрывы и падения материала из оползня... Нас догнала главная волна селя 2000 г., которая на наших глазах уничтожила 9-этажный дом... Перед волной селя в русле воды не было... Видимо, был затвор в районе оползня, после чего был прорыв, отчего и образовалась волна».

На рисунке 3.19 видны деревья в 25–30 м выше русла, поваленные ударными волнами селей. Видимо, это произошло в момент перекрытия русла оползнем 19 июля 2000 г. Оползень Бузулган является самым нижним в долине участком образования запруд в русле, что отмечено нами по результатам работ в 2000 г. По расчетам Ю.А. Гнездилова, при подвижках Бузулган может служить очагом подпитки катастрофического селя [Гнездилов, 2002].

Нижний врез в районе плотины-селеуловителя. Плотина, достроенная в июне 1999 г. и разрушенная селом в августе того же года (см. рис. 3.20а, б), к лету 2000 г. не была препятствием для потоков. На ее месте произошло врезание русла на глубину 20–25 м (см. рис. 3.20в). В днище на протяженном участке были вскрыты коренные породы – сланцы и филлиты.

Селевые волны в пределах города Тырнауза. Принято считать, что в июле 2000 г. на г. Тырнауз обрушились 4 селевых потока: 1) поздно вечером 18 июля – утром 19 июля, 2) днем 19 июля, 3) во второй половине дня 21 июля и 4) в ночь с 24 на 25 июля. Имеется также сообщение о якобы имевшем место пятом селе около 17 ч. 25 июля [Панов и др., 2001], которое не подтверждается нашими наблюдениями в Тырнаузе в этот день.

Поскольку 18 и 24–25 июля серии селевых волн проходили город в ночные часы, видеозаписи их не были сделаны. Волны 19 и 21 июля зафиксированы видеосъемками жителей города, специалистов Министерства по чрезвычайным ситуациям и корреспондентов средств массовой информации. Съемки проводились с различных точек, и по ним можно определить такие параметры селей, как скорость, консистенцию, длительность отдельных волн. Так, по данным хронометрирования пятнадцати волн, проведенного И.В. Крыленко с использованием ви-

деозаписей от 19 июля, максимальные скорости продвижения переднего фронта наиболее мощных селевых волн по лотку в пределах города составляли от 7,8 до 14,7 м/с (в среднем около 10 м/с).

На выходе реки Герхожан-Су в долину Баксана произошло формирование нового селевого конуса выноса площадью около 0,7 км² и длиной более 2 км. Объем аккумуляции селевой массы (твердая составляющая) на конусе выноса составил не менее 2,1 млн. м³ Съемка выполнена предприятием «Геомаркет». Отложения селевых потоков 2000 г. полностью перекрыли конусы выноса прошлых лет и заняли все днище долины Баксана, захоронив его русло в пределах конуса. Грязекаменные массы затопили и сгладили неровности рельефа. Общее увеличение отметок поверхности достигало 15–18 м. На конусе выноса селя произошло заложение новых, невыработанных русел рек Герхожан-Су и Баксан, контуры которых не согласуются с плановыми очертаниями доселевых русел. Длина реки Герхожан-Су увеличилась более чем на 1 км. Левый берег реки Баксан под воздействием селевых валов был размыт на участке протяженностью более 400 м и отступил на 5–15 м.

Ниже устья р. Герхожан-Су произошло распластывание селевой массы в прирусловой части Баксана. Через несколько километров, после отложения оставшейся части материала, сели трансформировались в наносоводные паводки.

3.3.3. Стадия эпикатастрофической адаптации очагов: первый год после катастрофы

На стадии эпикатастрофической адаптации активность экзогенных процессов, вызванных сходом катастрофических селей, оставалась высокой.

Изучение состояния селевых очагов проводилось по следующей схеме. Изменения в неселеопасный период, начиная с сентября 2000 г., фиксировались путем повторных съемок в конце июня – начале июля 2001 г. Затем, в течение опасного периода, длившегося до конца августа, велись многократные повторные съемки с элементами режимных наблюдений.

Материал выносился со стенок селевого каньона р. Зап. Каяарты-Су в результате обрушения и оползания отдельных блоков, а также осыпания. Каменный глетчер, расположенный поблизости от левого борта каньона, активизировался и летом 2001 г. подошел вплотную к бровке. В левом борту каньона образовались 5 термоцирков диаметром 20–30 м, с выходами погребенного льда, вытаивание которого приводило к образованию оплывин и склоновых микроселей (рис. 3.24). На участках образования термоцирков (вне закрепленных профилей) максимальное отступление бровок превысило 20–25 м.

Практически ежедневно в конце июля – августе 2000 г. и в июле–августе 2001 г. в днище каньона отмечалось образование русловых микроселей. По состоянию



Рис. 3.24. Группа термоцирков по левому борту селевого каньона р. Западная Каярты-Су в зоне разгрузки подземного стока из примыкающего к каньону каменного глетчера
а – одновременное зарождение склоновых микроселей в нескольких врезях через 10 минут после начала ливня. 9 июля 2001 г., 12.20. В верхней части врез обнажается пластовый лед;
б – состояние того же участка 13 августа 2002 г. Цифры – номера термоцирков. Повторные фото с площадки Фб

на 24 сентября 2000 г., материал большинства блоков льдистого грунта был вынесен русловыми микроселями.

Регрессивная эрозия привела к формированию в период с 8 июля по 5 августа 2001 г. нового отвершка селевого каньона у профиля П6 (см. рис. 3.11б, в). Длина отвершка составляет 78,5 м, глубина 2,5, ширина 3,1 м. Наиболее значительные изменения произошли в средней части селевого каньона. Суммарное отступание бровок с сентября 2000 по конец августа 2001 г., по данным измерений на закрепленных поперечных профилях, достигало 12,0 м. Положение профилей показано на рисунках 3.5, 3.15а, 3.23.

Отмечена активизация смещений на поверхности моренного комплекса между Западным и Восточным селевыми каньонами, а также медленное солифлюкционное течение в направлении Восточного каньона. В июле 2001 г. на поверхности морены зафиксированы трещины шириной до 0,2 м, террасы отседания и вилки напора высотой до 1,2 м и другие признаки движения.

В средней части бассейна, на участке нового селевого вреза, в течение года после селевой катастрофы 2000 г. происходили осыпные и оползневые процессы. Практически весь склоновый материал выносился рекой. При обрушениях склонов выше Нижнего ущелья формировались отдельные наносоводные паводки (например, 11 июля 2001 г.), но движение потока не приобретало селевого характера. На теле оползня Бузулган произошли заметные подвижки, при этом энергии водного потока р. Герхожан-Су оказалось достаточно для полного выноса вновь поступившего в русло материала.

3.3.4. Эпикатастрофический лимногенез

Образовавшееся в черте городской застройки подпрудное озеро имело длину до 2 км, ширину до 0,6 км (см. рис. 3.21). Площадь озера, по данным наших измерений, составила 0,55 км², максимальная глубина достигала 12 м. Дешифрирование аэроснимков показало, что в зоне затопления оказались 42 здания и ряд мелких строений. Город Тырнауз в этот период превратился в “Кавказскую Венецию”.

Существовало предположение, что эпикатастрофическое озеро может прорваться и стать новым очагом мощного селя по р. Баксан. Однако объем селевых отложений 2000 г. на конусе был столь велик, что они смогли удержать озерную плотину. Взрывные работы, проводившиеся в июле–августе 2000 г., не помогли понизить уровень озера. Началось быстрое заполнение созданной озерной котловины наносами [Богомолов и др., 2002]. На отдельных участках накопление отложений достигло 6 м. По проекту, разработанному институтом “Севкавгипроводхоз”, была создана прорезь в селевых отложениях 2000 г. для нового русла р. Баксан и проведено обвалование прирусловой части в зоне затопления, что позволило снизить уровень озера.

3.3.5. Изменения приледниковой зоны во второй год после катастрофы

Активность селевых процессов в течение второго года после катастрофы была значительно слабее, чем в предшествующий период. Связано это, по-видимому, как с общим затуханием послекатастрофической переработки нового селевого вреза, так и с относительно холодными погодными условиями в селеопасный период 2002 г. Основные события были приурочены к нижней части бассейна.

20–21 июня 2002 г. прошли экстремальные ливни в предгорной и низкогорной части Северного Кавказа. Ливни привели к формированию селевых потоков и наносоводных паводков в большинстве бассейнов низкогорной зоны и в отдельных очагах среднегорья. Отмечалось прохождение селевых потоков в соседних бассейнах Камык-Су, Большой и Малый Мукулан. В бассейне Герхожан-Су после ливней 20–21 июня сформировался селевой поток в долине правого притока – р. Кюгенбал-Су. Произошла разгрузка оползней в древних моренных отложениях, слагающих днище кара в верховьях левого истока Кюгенбал-Су. На высоте около 2100–2200 м образовался водокаменный сель или селеподобный паводок, подмывший и опрокинувший мост у впадения Кюгенбал-Су в Герхожан-Су. Устьевая ступень, образовавшаяся после селей 2000 г. вследствие врезания р. Герхожан-Су, была частично срезана этим потоком. Длина пути потока составила около 3 км.

В Нижнем ущелье р. Каяарты-Су произошли насыщение моренных отложений водой и разгрузка их в русло в виде оползней. Оползни перекрыли русло. 5 июля 2002 г. в Нижнем ущелье сформировался селевой поток. Наблюдатель с поста “Бузулган” Высокогорного геофизического института передал сообщение о прохождении селя, а через 35 минут, по устному сообщению М.М. Хаджиева, селевой поток достиг автодорожного моста в городе. Таким образом, средняя скорость потока на 3-километровом участке от Бузулгана до моста составила около 1,4 м/с, или 5 км/ч.

Начиная от участка перед слиянием Каяарты-Су и Сакашили-Су, по всей длине русла до лотка осталась свежая селевая терраса от 5 июля высотой около 2 м над руслом. Отложение селевой массы 5 июля привело к подъему отметок в селепропускном лотке, в том числе под автодорожным мостом в Тырынаузе. Вид Нижнего ущелья в августе 2002 г. показан на рисунке 3.25.

Высокогорная зона осталась незатронутой селевыми процессами, связанными с ливнями в первой половине лета 2002 г. На высотах выше 2500–2800 м в то время еще лежал снег. Многоснежная зима и холодное лето привели к тому, что сход снежного покрова в районе концов ледников произошел примерно на 25–30 дней позже обычного. Грот ледника Западный Каяарты не освободился от снега даже к середине августа. Сели снеготаяния, сход которых в сезон 2001 г. был характерен для июня и начала июля, в 2002 г. наблюдались в августе.



Рис. 3.25. Нижнее ущелье р. Каяарты-Су

Фото 16 августа 2002 г. а – оползень (1) с левого борта, сошедший вследствие обводнения древних моренных отложений в период экстремальных ливней. Река течет по оползневому телу (2); б – место обрушения рыхлых отложений с правого борта в русло при подрезке склона (3); в – зона движения селя 5 июля 2002 г. Стрелками показано направление течения реки

В течение селеопасного сезона 2002 г. отсутствовали русловые микросели в днище селевого каньона Каяарты-Су, столь характерные для июля–августа в 2000 и 2001 гг. Формирование склоновых микроселей в термоцирках по левому борту каньона (между профилями П4 и П5) замедлилось. В период обследования активным выглядел только один из 5 цирков, по которому происходит разгрузка подземных вод из примыкающего к каньону каменного глетчера (обозначен под № 2 на рисунке 3.24). В его воронке 14 августа обнажился лед и происходило накопление материала липко-пластичной консистенции. 15 августа 2002 г. нами наблюдалось зарождение микроселя в термоцирке №2, на высоте 3180 м. В 16 часов над каньоном начался сильный ливень, к которому через 15 минут добавился град, а через 30 минут – мокрый снег. В течение 25–30 минут после начала ливня начался процесс осыпания в прибровочной части цирка. В воронке, под обнажениями льда, скопилась критическая грязевая масса. Через несколько минут произошло оползание на участке площадью около 6 м². Скорость оплывины увеличилась до 5–15 см/с. Движение на 50-метровом участке русла продолжалось 12–15 минут со средней скоростью около 5–7 см/с. Объем массы, вовлеченной в микросель, не превысил 10–15 м³. После впадения в р. Зап. Каяарты-Су поток привел к увеличению ее мутности, но объем его был слишком мал для перекрытия русла. В 2002 г. также сошел микросель на внешнем склоне моренного уступа по руслу, не проявлявшему активности в последние годы (см. рис. 3.15б).

Отступление бровок селевого каньона было также незначительным. На большинстве профилей изменение положения бровок не превысило 1 м, что в несколько раз меньше отступления в 2001 г. В районе развития термоцирков отступление составило 1,4 м, что также меньше показателей предыдущего года. Максимальные значения глубины и ширины каньона с конца августа 2001 г. до августа 2002 г. почти не изменились. Новый контур селевого каньона, определенный путем полевого картографирования с помощью автоматической записи результатов спутникового позиционирования в микрокомпьютер Cassiopeia, показан на рисунке 3.26.

Отвершки каньона (профиль П6) увеличивались в размере, причем наметился частичный перехват вод Зап. Каяарты-Су на нижней задровой площадке. При определенных обстоятельствах небольшое поступление селевого материала с вышележащих участков может в будущем привести к естественной переброске части или даже всего стока в старый сухой врез, находящийся между Западным и Восточным каньонами.

3.4. Натурные наблюдения за эпикатастрофическими процессами

Поскольку некоторые процессы после катастрофы быстро заканчиваются, только непосредственные наблюдения за ними могут дать информацию об их интен-



Рис. 3.26. Новый контур бровок селевого каньона Зап. Каяарты-Су – основного селевого очага в 2002 г.

1 – бровка каньона 13 августа 2002 г. по данным полевого картографирования с помощью автоматической записи результатов спутникового позиционирования; 2 – положение русел согласно топографической карте; Съемка О.В. Тутубалиной. Топографическая основа – государственная топографическая карта, съемка конца 1950-х гг.

сивности и механизме. Необходимо рассмотреть особенности хода переработки селевых очагов и прилегающих к ним участков, таких, как отступление бровок селевого каньона, склоновые и русловые микросели и криогенные процессы на уступах морены между каньонами.

3.4.1. Механизм и темпы отступления бровок селевого каньона

Начиная с стадии эпикатастрофической адаптации (конец июля – сентябрь 2000 г.) в каньоне было постоянное осыпание стенок каньона, имевших уклон 50–90°. На отдельных участках уклон был отрицательным, при этом в бортах обнажались льди-

стый грунт, местами со слоями пластового льда, видимой мощностью до 15–25 м (см. рис. 3.12а).

Цикличность осыпного процесса при суточном увлажнении и высыхании осыпных стенок в рыхлых грунтах, изучавшаяся нами ранее на Западном Тянь-Шане [Голосов, Черноморец, 1987а, б], проявлялась для стенок каньона Зап. Каярты-Су в полной мере. Осыпание начиналось, как правило, после 9 часов утра. На левом борту, имеющем восточную экспозицию и открывающемся для прямой солнечной радиации ранее правого борта, осыпной процесс возобновлялся и заканчивался раньше. Пик осыпания наступал в интервале 14–16 часов, затем до захода Солнца процесс постепенно затухал. Отдельные обломки осыпались в ночные часы.

В июле 2001 г. осыпание происходило на изменившихся стенках каньона со значительно меньшей интенсивностью. Борты отступили, стали более пологими. Появились мощные осыпные шлейфы в нижней части склонов. Видимая мощность субгоризонтально-слоистого пористого льда достигала 6–8 м. В средней части каньона отмечалось падение обломков с интервалом 2–3 минуты. Преобладали фракции мелких и средних валунов.

Отступление бровок за период с сентября 2000 по август 2002 г., по данным измерений на восьми закрепленных поперечных профилях, последовательно расположенных сверху вниз вдоль селевого русла, показано в таблице 3.3.

Отрицательные значения в таблице связаны с движением бровок, вовлеченных в процесс блокового отседания бортов каньона.

3.4.2. Склоновые микросели

Следующим звеном в цепочке экзогенных процессов являются склоновые микросели. Ход зарождения и затухания склоновых микроселей можно просле-

дить на примере наблюдений 8–9 июля 2001 г. Осыпание чередовалось с периодическим массовым смещением валунов и мелкозема по лоткам со скоростью 1–3 м/с. Объем материала по 4 врезам 8 июля 2001 г. достиг около 0,6 тыс. м³. Осыпание начиналось в 11–12 часов дня и продолжалось до тех пор, пока через 3–4 часа не прекращалось прямое солнечное освещение осыпных стенок. С 19 до 23 часов 8 июля над каньоном шли дожди (в полевом лагере в 1 км от очага выпало 12 мм осадков). По врезам 1–4 сошли склоновые микросели. В тыловой части блока (профиль П14) образовалось грязевое “озеро”, которое в ту же ночь было прорвано (рис. 3.27а, б).

9 июля в 11.30–11.40 над селевыми очагами прошла короткая гроза. Сразу после грозы по врезам № 1–4 в левом борту Западного каньона пошли небольшие склоновые сели, длившиеся во врезам 2–4 около 10–15 минут и остановившиеся

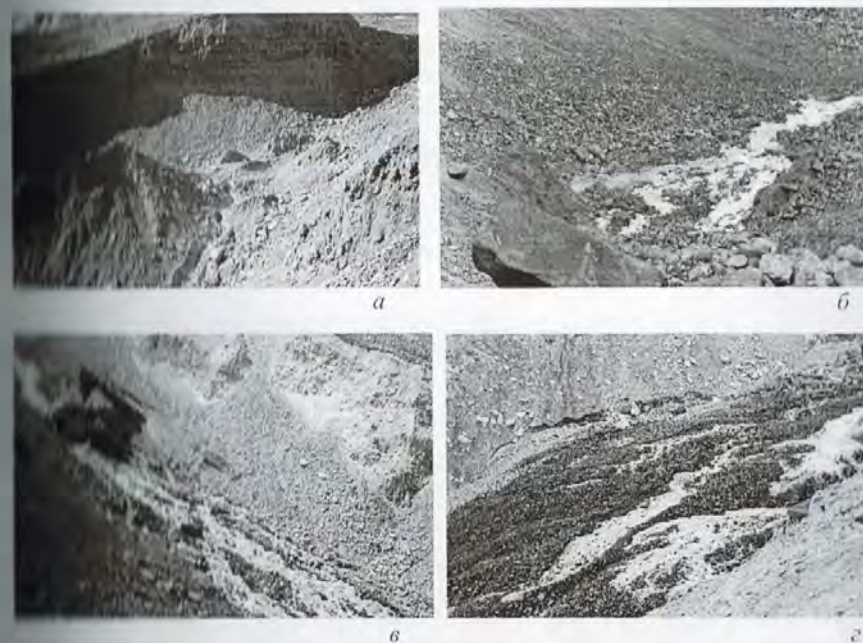


Рис. 3.27. Микросели в каньоне р. Зап. Каярты-Су на стадии эпикаатастрофической адаптации в течение пропорционально накопление в каньоне материала склоновых селей. В днище каньона образовалось микроозеро, заполненное селевой массой, которое вскоре прорвалось. 8 июля 2001 г.; б – формирование плотной массы микроселя и вод р. Зап. Каярты-Су, вытекающих из грота в массиве лавовых грунтов. Массив образовался в июле 2000 г. при обрушении бортов каньона в момент лавовой катастрофы. 8 июля 2001 г.; в – формирование микроселя при подрезке массива лавовых грунтов в днище каньона. 6 августа 2001 г.; г – затухание волн микроселей, перегруженных обломочной массой, при небольшом уменьшении уклона. 6 августа 2001 г.

Изменение положения бровок селевого каньона

Таблица 3.3

Поперечный профиль	Отступление бровок в период между измерениями, м					
	26 сентября 2000 г. – 8 июля 2001 г.		8 июля 2001 г. – 27 августа 2001 г.		27 августа 2001 г. – 15 августа 2002 г.	
	левый борт	правый борт	левый борт	правый борт	левый борт	правый борт
П9 2000	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	-0,1
П8 2000	0,1	0,1	0,3	0,0	0,3	0,0
П7 2000	0,9	0,3	-0,1	-0,3	0,1	0,6
П6 2000	0,6	0,4	0,2	-1,0	0,3	0,2
П5 2000	2,5	3,6	-0,1	1,1	0,3	0,3
П4 2000	3,4	3,3	0,5	1,0	1,4	1,0
П3 2000	8,0	5,0	0,6	7,0	0,0	0,7
П2 2000	-0,3	0,6	-0,2	0,2	0,0	-0,1

при попадании в днище каньона (см. рис. 3.24б). Зарождение селей после начала грозы происходило путем осыпания отдельных обломков, которое переходило в массовое смещение водонасыщенного грунта по днищу лотка, а затем сменялось грязекаменным потоком. Сель, сформировавшийся во врезе 1, длился до 12.26. Он обогнул останец льдистого грунта в русле и достиг реки Западная Каяарты-Су. Сель имел волновой характер. Три волны доходили до русла в 12.02, 12.11 и 12.17 и были разбавлены русловым потоком.

Вытаивание льда в термоцирках происходило в дневные часы. При таянии накапливался увлажненный тиксотропный материал. Процесс селеформирования замедлялся в прохладную пасмурную погоду (из-за туманов) и усиливался в солнечную погоду. Без дождя процесс шел медленно. Наблюдались скорее оплывины, чем сели, хотя границу между склоновым селем и оплывиной в этих условиях провести трудно.

В ночные часы температура поверхности на высоте термоцирков лишь несколько недель в году поднимается выше нуля, а средняя годовая температура в этих очагах отрицательная. В теплый период происходит приток воды из-за разгрузки примыкающего к каньону каменного глетчера. Видимо, вытаивание льда в короткий период высоких температур компенсируется конжеляцией в период отрицательных температур.

При ливнях склоновые микросели сходили практически по всем руслам, выходящим из термоцирков. Процесс усугублялся тем, что в этом месте происходила разгрузка талых вод от каменного глетчера, примыкающего к каньону.

3.4.3. Русловые микросели в днище долины

На стадии эпикатастрофической адаптации в днище селевого каньона Зап. Каяарты-Су практически ежедневно отмечалось образование микроселей примерно с 12 до 19 часов. Видеосъемки и повторные фотосъемки показали, что микросели формировались в виде волн при размыве наносоводным потоком морен, осыпей и селевых террас. В течение часа можно было наблюдать до 5–8 волн продолжительностью от 1 до 5 минут. Через десятки, реже сотни метров, при небольшом уменьшении уклона, селевая масса сбрасывалась до следующей волны (см. рис. 3.27). В нижней части каньона и в верхней части поля аккумуляции селей 2000 г. образовалась зона развития микроселей шириной 100–200 м и протяженностью около 700–800 м. По сравнению с 2000 г., в 2001 г. зона микроселей сместилась на 300–500 м вниз по течению и стала короче на 200–300 м. Путем эрозионного размыва новых селевых террас летом 2001 г. происходило образование небольших селевых волн.

Массивы льдистого грунта, обрушившиеся в днище каньона, сами на время стали новыми очагами – источниками ежедневных микроселей, продолжавших-

ся до установления низких температур и прекращения таяния ледника в конце августа – начале сентября (см. рис. 3.27в, г). Из 30 крупных массивов грунта, обрушившихся в русло в июле, к концу сентября 2000 г. оставался один (см. рис. 3.14б). Разрушение данного массива вновь началось в начале июля 2001 г. и завершилось в течение последующих двух месяцев (рис. 3.28). После этого зона микроселей прекратила существование.



а



б

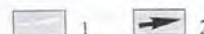


Рис. 3.28. Эпикатастрофические процессы: разрушение остатков массива льдистого грунта, обвалившегося на дно каньона Зап. Каяарты-Су в июле 2000 г., путем разделения на части и выноса микроселями. 6 августа 2001 г.

а – время 11.30; б – время 14.30, 1 – поступление льдистого грунта в русло; 2 – зарождение волны микроселя

Вопреки сложившимся представлениям о селе как о редком процессе, небольшие сели на эпикатастрофической стадии в очагах, нарушенных катастрофическим селем, не являются разовым дискретным процессом. Они служат нормальным ежедневным механизмом перемещения наносов. В бассейне Герхожан-Су после выдающейся катастрофы 2000 года этот процесс занял полтора селеопасных сезона: с момента схода 18–25 июля до конца августа 2000 года и июль–август 2001 г. При этом селевая масса отлагалась на поле аккумуляции ниже каньона, и без непосредственных наблюдений может сложиться впечатление, что селевая деятельность в бассейне отсутствовала.

3.4.4. Криогенные процессы на моренном уступе между каньонами

Площадки для изучения динамики криогенных процессов располагались на моренном уступе между Западным и Восточным каньонами Каяарты-Су. Создание площадок проводилось в связи с тем, что криогенные трещины на уступе были обнаружены в сентябре 2000 г., а до этого никем не фиксировались [Запороженко, 2001а]. Участок наиболее густо развитых трещин расположен на склоне крутизной 15–20°, имеет ширину 200–250 и протяженность около 400 м. На нем, помимо трещин, встречаются криогенные формы разных типов: каменные медальоны, ползущие валуны с валиками напора, солифлюкционные террасы. Анализ раскрытия трещин и рельефа поверхности между ними показал, что в 2001–2002 гг. происходили изменения в пределах 1–2 см в год. Указанная скорость была значительно меньше скорости процессов на бортах каньона Зап. Каяарты-Су. При этом движение происходило в разные стороны, что скорее свидетельствует о медленном процессе морозной сортировки, чем об активизации криогенного оползня. По-видимому, в экстремально жаркий летний сезон 2000 г. произошло значительное усиление криогенных процессов, и в случае повторения метеорологической ситуации возможна новая подвижка.

3.5. Расчеты объемов селей

3.5.1. Объем выноса на стадии катастрофы

Реконструированная последовательность литодинамических зон при катастрофических селях 2000 г. выглядит следующим образом:

Д – ТА – Д – ТА – Д – ТА – Д – А – ТД – Т – ТД – Д – ТД – Д – Т – ТД – Д – ТД – А – ТА

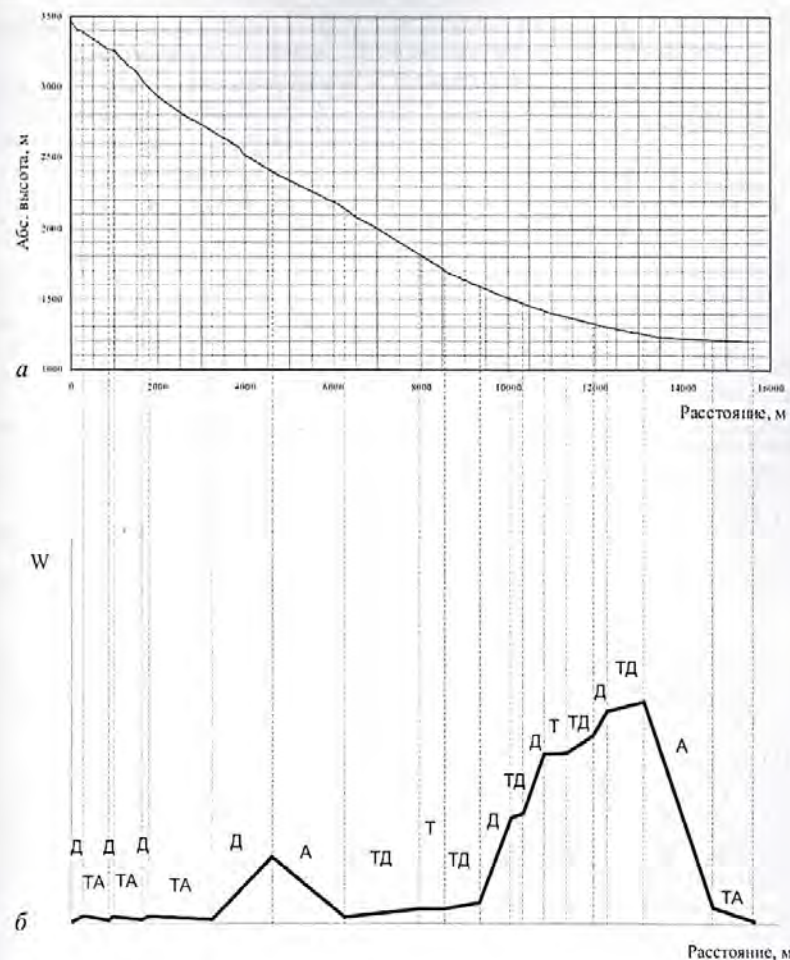


Рис. 3.29. Продольный профиль р. Герхожан-Су от точки зарождения до точки затухания селей 2000 г. и изменение объема селевой массы

а – литодинамические зоны, б – качественная оценка изменений объема в створах

Положение зон, соотнесенное с продольным профилем русла, показано на рисунке 3.29а.

По результатам проведенных в 2000 г. исследований были проведены подсчеты [Крыленко и др., 2002а]. Общий объем выноса твердого материала при фор-

Поступление твердой фракции 18–25 июля 2000 г. в селевое русло
(по расчетам И.В. Крыленко)

Таблица 3.4

Участки подпитки селей 2000 г. твердой составляющей	Зона	Длина участка, L, м	Объем выноса, W, тыс. м ³	Приращение объема W', м ³ /м
Селевой каньон Зап. Каяарты-Су	Д	940	589,0	627
Верхняя часть нового селевого вреза Каяарты-Су	ТД	840	25,7	31
Начало средней части нового селевого вреза Каяарты-Су	ТД	820	195,2	238
Участок разветвлений в среднем течении Каяарты-Су	Д	1000	1395,0	1395
Нижняя часть нового селевого вреза Каяарты-Су	ТД	220	37,9	172
Участок у слияния Каяарты-Су и Сакашили-Су	ТД	400	44,6	111
Селевой врез от оползня Бузулган до начала с. Аул	ТД	2100	876,2	417
Всего		6320	3163,6	501
В среднем				

мировании нового селевого русла составил около 3,16 млн.м³ (без учета материала, поступившего при обрушениях в Нижнем ущелье и с оползня Бузулган) (табл. 3.4).

На рисунке 3.29, б показана оценка изменений объема селевой массы, прошедшей через каждое сечение русла. Точность оценки при большом количестве зон не может быть велика в связи с причинами, описанными в п. 3.2.4, поэтому график представляет собой качественную оценку изменений. Однако представляется важным в будущем строить подобные диаграммы для сравнения селевых потоков в одном бассейне и бассейнов между собой.

3.5.2. Объемы выноса из селевого каньона Зап. Каяарты-Су на стадии эпикатастрофической адаптации

В соответствии с методикой, примененной для расчета в стадию катастрофы, была сделана попытка подсчитать объем выноса из селевого каньона р. Западная Каяарты-Су, происходившего в первый год стадии эпикатастрофической адаптации. Для расчета объемов выноса каньон был разделен на участки с характерными особенностями литодинамики. На границах участков выбирались типичные поперечные профили, и путем геодезических измерений вычислялась площадь их

сечения. Точность измерений можно оценить примерно в 10–15%. Анализ поперечных профилей, построенных А.А. Алейниковым (примеры совмещения ряда профилей приведены на рисунке 3.30), позволил выявить скорости отступления бровок и изменений бортов каньона, оценить динамику объема селевого вреза за период с конца сентября 2000 г. по конец августа 2001 г.

На участке русла от ледника Западный Каяарты до селевого каньона изменения поперечного профиля за год были незначительными. В верхней и средней

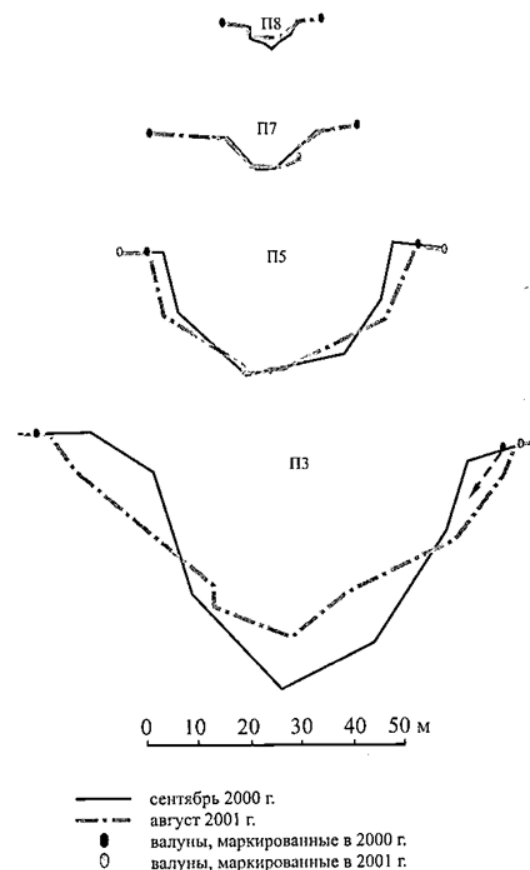


Рис. 3.30. Изменение поперечных профилей селевого вреза р. Зап. Каяарты-Су по результатам повторных геодезических измерений А.А. Алейникова и И.В. Крыленко в конце сентября 2000 г. и в августе 2001 г. (начальный и завершающий периоды стадии эпикатастрофической адаптации)

частях каньона преобладал процесс выноса материала из дна каньона, а в нижней части (начиная от профиля ПЗ) преобладала аккумуляция отложений. Объем врез селевого каньона, составлявший в сентябре 2000 года 0,89 млн. м³, по подсчетам П.Г. Журавлевой, к концу августа 2001 года увеличился до 1,06 млн. м³ [Крыленко и др., 2004]. За прошедший год на стадии эпикатастрофической адаптации из селевого каньона было вынесено 0,17 млн. м³ рыхлых отложений. В конце августа 2001 г. параметры селевого каньона составляли: длина 940 м, средняя глубина 24 м, средняя ширина дна 18 м, средняя ширина по бровкам – 65 м. Параметры селевого каньона приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5
Основные морфометрические параметры селевого каньона р. Зап. Каяарты-Су до и после катастрофических селей 2000 года

Источники информации	Максимальная глубина, м	Максимальная ширина, м	Длина, м	Средневыявленный уклон по тальвегу	Объем вреза, млн. м ³
М.Д. Докукин [1985]	20–25	30–50	800	19,21°	–
И.Б. Сейнова [1997]	15–20	15–25	880	19,21°	–
Результаты экспедиционных работ УЦИГМ, сентябрь 2000 г. [Крыленко и др., 2002]	40–50	90–100	940	16,50°	0,89 ¹
Результаты экспедиционных работ УЦИГМ, июнь–август 2001 г.	35–45	100–120	970	15,96°	1,06 ¹

¹ Объем вреза включает объем до 2000 г.

Таким образом, вынос из главного селевого очага в сентябре 2001 г. – августе 2002 г. был лишь в 3,5 раза меньше, чем зафиксированные в сентябре 2000 г. изменения в результате катастрофы. Следует учесть, что увеличение объема каньона к сентябрю 2000 г. на 589 тыс. м³ (см. табл. 3.4) учитывает не только вынос в стадию катастрофы 2000 г., но и результаты селя 1999 г., а также первые полтора месяца эпикатастрофической адаптации, отличавшиеся очень интенсивной переработкой бортов и дна каньона. Поэтому превышение объемов перемещенного вещества в стадию катастрофы над перемещением в стадию эпикатастрофической адаптации оценивается менее, чем в 3,5 раза.

3.5.3. Объем селей за период наблюдений в бассейне

Данные об объемах выноса и отложения материала при сходе наиболее выдающихся селей в бассейне р. Герхожан-Су, приведенные в различных источниках,

таковы. В 1960 г. объем отложений на конусе составил 210–250 тыс. м³, общий объем твердой фазы – около 400 тыс. м³, с учетом примерно 50 % воды общий объем селевого выноса оценивался в 800 тыс. м³. В 1961 г. эти величины составляли соответственно 180, 300 и 600 тыс. м³, в 1962 г. – 110, 180 и 360 тыс. м³, в 1977 г. – 200, 1500 и 3000 тыс. м³ [Сейнова, 1997]. Для 1999 г. имеется оценка общего объема селевой массы в 800 тыс. м³ [Барановский и др., 2000].

После селей 2000 г., в начале августа объединением “Геомаркет” (г. Нальчик) на конусе выноса проводилась топографическая съемка масштаба 1:2000. Объем материала, отложившегося на конусе, был оценен в 2,1 млн. м³. Наши расчеты поступления твердой составляющей селей по зонам подпитки показывают, что с учетом материала, отложившегося на участках аккумуляции выше конуса, а также ушедшего в русло Баксана, общий объем твердой фазы селевых потоков составлял более 3,1 млн. м³.

Вопрос об общем объеме селевой массы $\Sigma W_{\text{полн}}$ для потоков 2000 г. представляет отдельный интерес. События 18–25 июля представляли собой единый селевой процесс, состоявший из четырех крупных серий волн. Крупные серии, в свою очередь, состояли из многих десятков малых волн, связанных с заторным характером движения селя. Как показывают видеозаписи, сделанные жителями г. Тирнмауза, в промежутках между крупными сериями селевых волн по р. Герхожан-Су или наносоводные паводки. В связи с этим оценка В.Д. Пановым и соавторами [Панов и др., 2001] объема селевой массы в 10 млн. м³, представляется нам завышенной и может быть принята к рассмотрению только в том случае, если включать в объем селя также и объем продолжительных наносоводных паводков между сериями селевых волн.

Вероятно, для сравнения собственно селевых потоков разных лет можно, как это делалось ранее для предыдущих селей, условно принять, что объем воды составлял примерно половину от объема селевой массы. Тогда объем селевой массы в 2000 г. можно оценить приблизительно в 6 млн. м³. Суммарный объем эпикатастрофических селей за селеопасный сезон 2001 г. соответственно можно оценить в 0,34 млн. м³.

3.6. Оценка динамики селевых очагов в будущем

При сходе селей в июле 2000 г. произошло быстрое образование глубокого вреза в толще моренных и селевых отложений, длительное время накапливавшейся вдоль русла. В будущем возможен частичный перехват стока в пределах приледниковой зоны и дальнейшая перестройка литодинамических зон селевого бассейна. Участки селевых каньонов могут оказаться брошенными, а разрушенные насыщенные погребенными льдами моренного комплекса будет происходить по другим каньонам на соседних участках.

По-новому необходимо рассматривать вопрос о развитии микроселей в приледниковой зоне. Вопреки сложившемуся мнению о селе как о редком разрушительном явлении, наблюдения в сезоны 2000 и 2001 гг. показывают, что небольшие сели, не доходящие до устья реки, являются нормальным ежедневным механизмом транспортировки наносов на нестабильных участках в период таяния ледников и массивов погребенного льда.

За последние десятилетия прослеживается тенденция к увеличению высоты зоны зарождения селей. Наши исследования подтверждают подмеченную ранее [Докукин, 1985, Сейнова, Золотарев, 2001] тенденцию перемещения селевых очагов вверх по долине. В 2000 году первичный импульс селей возник непосредственно у ледника Западный Каяарты. Основными способами смещения очагов являются образование новых потенциальных селевых массивов на площадях, освободившихся от льда, и регрессивная эрозия отвешков селевого каньона.

В средней части долины можно прогнозировать тенденцию к постепенному расширению и заполнению образовавшегося вреза рыхлыми отложениями на участках, где уклоны днища долины не очень велики. Плановые деформации русла теперь на длительное время будут ограничены днищем нового селевого вреза. В случае возникновения катастрофических селей, скорость их движения по руслу будет велика. На подходе к городу они могут обладать большей кинетической энергией, нежели сели 2000 года.

Необходимо периодическое проведение расчистки селепропускного лотка в г. Тырныаузе от обломочной массы. Опыт 2002 г. показал, что даже небольшой сел может занести пролет автодорожного моста. В случае, если сел будет мощнее, возможно, пролет окажется забит селевой массой. Гранулометрический анализ заполнителя селевой массы, проведенный нами после селей 2000 г., показал, что сели, зарождающиеся в Нижнем ущелье, содержат большее количество глинистой составляющей, чем сели из приледниковой зоны. Потоки из Нижнего ущелья являются более плотными, и при выполнении ряда условий им будет легче закупорить отверстие под мостом. В этом случае последующие селевые волны могут выйти за пределы лотка. Под угрозой оказываются здания управления Тырныаузского комбината, городской администрации и прилегающие к лотку жилые дома.

Выводы

Долина реки Герхожан-Су является наиболее значимой с точки зрения селевой опасности в бассейне р. Баксан. Исследование изменений рельефа и динамики экзогенных процессов после катастрофических селей 18–25 июля 2000 г. в бассейне Герхожан-Су показало, что, в отличие от ранее проходивших селей, в 2000 г. произошло катастрофическое врезание русла и перестройка литодинами-

ческих зон. Объем выноса твердого материала оценен более чем в 3,1 млн. м³, общий объем селевой массы – примерно в 6 млн. м³. При впадении р. Герхожан-Су в р. Баксан образовалось подпрудное эпикатастрофическое озеро площадью 0,55 км², подтопившее центральную часть г. Тырныауза.

В течение полутора лет после катастрофы активность экзогенных процессов оставалась высокой. В верховьях бассейна отступление бровок селевого каньона достигало 12,0 м на поперечных профилях и превысило 20–25 м на участках развития новых боковых врезов. Объем твердого материала, вынесенного из селевого каньона в сентябре 2000 – августе 2001 гг., составил 0,17 млн. м³. В течение июля–августа 2001 г. зафиксировано формирование ежедневных микроселей. Регрессивная эрозия привела к формированию нового оврага в верхней части каньона. На поверхности морены, обрамляющей каньон, отмечены трещины шириной до 0,2 м, террасы отседания и валики напора.

Селеопасный сезон 2002 г. отличался относительно низкими температурами, что ослабило деятельность селевых процессов. Сел небольшой мощности зародился в начале июля в Нижнем ущелье Каяарты-Су, дошел до г. Тырныауза и привел к подъему отметок русла под автодорожным мостом. Селевой каньон Каяарты-Су мало изменился с августа 2001 по август 2002 гг. В будущем в пределах приледниковой зоны возможны частичный перехват стока и дальнейшая перестройка литодинамических зон селевого бассейна.

Предкатастрофическая подготовка очагов характеризовалась отступанием ледников и образованием значительных площадей, занятых массивами мертвых льдов и льдистых грунтов. Нарушение сплошности массивов произошло при селе 1999 г. Непосредственно перед событиями 18–25 июля 2000 г. происходила длительная рекордно высокая абляция ледника Западный Каяарты, что привело к водонасыщению рыхлообломочного покрова. 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. Интенсивные процессы эпикатастрофической переработки очагов происходили в два этапа – с конца июля до начала сентября 2000 г. и с начала июля до конца августа 2001 г. После разрушения массивов льдистых грунтов в днище каньона, по-видимому, можно констатировать наступление стадии межкатастрофической эволюции, что подтверждается отсутствием значительных изменений в очагах в течение последующего 2002 года.

По размерам хозяйственного ущерба долина р. Герхожан-Су является самым значительным селевым объектом в Кабардино-Балкарии. На примере долины можно наблюдать катастрофические изменения в рельефе, происходящие в течение очень короткого времени, и процессы, ведущие к частичному восстановлению равновесия после катастрофы. Успешный опыт оповещения о прохождении селя

специалистами Высокогорного геофизического института в начале июля 2002 г. показал, что необходимо продолжать организацию наблюдательных постов в долинах Герхожан-Су и Каяарты-Су. Круглосуточные дежурства наблюдателей в продолжение селеопасного периода позволят не только вовремя предупредить о начале селя, но и провести непосредственные наблюдения за прохождением потока в случае его возникновения. Желательно совместить наблюдательные посты с пунктами режимных гидрометеорологических наблюдений. Необходимы также периодические замеры степени заполнения селепропускного лотка в пределах г. Тырныауза, особенно в верхней части лотка и на его повороте при выходе на конус выноса.

Для исследования морфолитодинамики бассейна и локального прогноза селей было бы полезно превращение долины Герхожан-Су в опорный объект для мониторинга селевых потоков.

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 и межкатастрофическую стадию имеет самостоятельное значение и заслуживает, по-видимому, отдельного детального исследования.

На Центральном Кавказе имеются два бассейна, в которых произошли крупные селевые катастрофы в недавнем прошлом. Оба они находятся в пределах водосбора р. Адыр-Су, правого притока р. Баксан. В бассейне Джаловчат селом 13 августа 1940 г. были разрушены альплагеря "Сталь" и "Молния", а в бассейне Куллумкол-Су после селя 19 июля 1983 г. перестал существовать альплагерь "Джайлык".

4.1. Бассейн Джаловчат и последствия катастрофы 1940 года

4.1.1. Строение селевых очагов бассейна Джаловчат

Ручей Джаловчат является левым притоком р. Адыр-Су. Бассейн Джаловчат расположен на северных и северо-западных склонах хребта Адыл-Су с вершинами Узловая (3929 м), Физкультурник (3834 м), Локомотив (3859 м), Дружба, Койнган-Баши¹ (3851 м). Среди коренных горных пород преобладают серые мелкокристаллические граниты, а также гнейсы палеозойского возраста.

Катастрофический сел 1940 года зародился в верховьях правого истока ручья Джаловчат, у края безымянного карово-долинного ледника № 70 [нумерация

¹ Приведены "туристские" названия. Более подробно о топонимах района см. раздел 6.3.

по Каталогу ледников..., 1970]. Площадь ледника, по разным данным, составляла 0,4 км² [Каталог ледников..., 1970] или 1,0 км² [Докукин, 19876]. Устье ручья в настоящий момент находится на высоте около 2250 м (рис. 4.1).

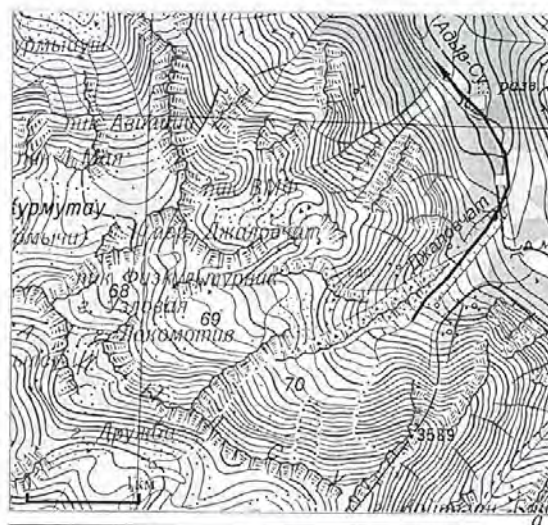


Рис. 4.1. Бассейн Джаловчат

а – фрагмент топографической карты [Кабардино-Балкарская..., 2001]; б – космический снимок ASTER от 15.09.2001 г. Стрелкой показан путь движения селей 1940 г. 1 – примерное положение альплагерей “Сталь” и “Молния” в 1940 г.; 2 – номера ледников по [Каталог ледников..., 1970]

В бассейне Джаловчат имеются три карово-долинных и несколько висечных ледников. Запасы моренного материала, образовавшегося при отступании ледников, составляют десятки млн. м³. В бассейне происходят активные обвалыно-осыпные и лавинные процессы. Так, в результате схода лавин разрушена мачта ранее действовавшей канатной дороги, расположенной на внешнем склоне правобережной морены. В нижней части бассейна, на высотах до 2600 м, распространены лиственные и хвойные леса.

У края ледников 68 и 69 имеется ряд небольших селевых очагов. Слившиеся селеактивные водотоки, начинающиеся от этих ледников, образуют селевой приток, впадающий в основное русло. Объемы потоков по этому притоку до сих пор были незначительными.

4.1.2. Стадия предкатастрофической подготовки

О периоде подготовки селевой катастрофы в бассейне известно не очень много. Летом 1940 г. отмечались повышенные температуры воздуха, солнечная погода и интенсивное таяние ледников. Осадки перед селом и во время его очевидцами не отмечались. Происхождение водной составляющей селя П.В. Ковалев связывал с таянием ледника [Ковалев, 1957]. На примере катастрофического селя 1940 г. П.В. Ковалев отмечал явления, “являющиеся в некоторой степени его предвестниками”, то есть, по принятой нами терминологии, признаками стадии предкатастрофической подготовки: постепенное увеличение воды в реках; увеличение мутности, иногда с превращением потока в жидкую грязь; изменение цвета воды в реках и увеличение шума вследствие транспортировки более тяжелых валунов.

4.1.3. Характеристика катастрофы 1940 года

Селевая катастрофа произошла 1–3 августа 1940 г. Рассказ о селе приводится в публикациях В.М. Абалакова, М.Т. Погребецкого, П.В. Ковалева [Абалаков, 1940; Погребецкий, 1941; Ковалев, 1950, 1957]. Согласно описанию П.В. Ковалева, продолжительность селя составила около 60 часов. Катастрофа началась в ночь на 1 августа. Сель подпрудил р. Адыр-Су, но селевая масса прорвала плотину и пошла на альплагерь “Сталь”. Ветвь потока разрушила палатки и постройки и через лагерные ворота вырвалась, соединившись с другим рукавом селя. Грязекаменные валы достигали высоты 4–5 м. В крупном альплагере “Молния” удалось спасти часть имущества; остальное погибло под ударами селевых волн. Были разрушены 2 капитальных и несколько фанерных домов. В ночь с 1 на 2 августа сель прекратился в связи с похолоданием и уменьшением таяния, возобновившись в 11 часов утра. Селевые волны сменяли одна другую. На месте зарождения

образовался крупный врез, имевший после катастрофы глубину 60–80 м и крутизну склонов до 80° [Ковалев, 1957].

Долгое время, до Герхожанской катастрофы 2000 года, объем выноса из селевого очага в долине Джаловчат в 1940 г. считался рекордно высоким из всех зафиксированных объемов селей в бассейне р. Баксан. “Кубатура оврага, образованного селем, равна 3.000.000 кубических метров” [Ковалев, 1957, с. 134]. П.В. Ковалевым приводятся схематические профили селевого вреза. При этом П.В. Ковалев не сообщает, какая часть подсчитанной им “кубатуры” уже существовала до катастрофы. Впоследствии в большинстве работ цифра 3 млн. м^3 трактовалась как объем выноса только 1940 г. (например, [Докукин, 1987б; Сейнова, Золотарев, 2001]).

Строение Джаловчатского очага анализировалось М.Д. Докукиным, который отмечал трудность интерпретации механизма образования селя 1940 г. и предполагал, что в результате совпадения во времени действия различных процессов “деятельность талых ледниковых вод привела форму морены в соответствие с действительной денудационной способностью потоков” [Докукин, 1987б, с. 58].

Длина пути селя до устья балки Джаловчат составила 1,4 км. Место трансформации селя в наносоводный паводок по р. Адыр-Су, по сохранившимся в 2002 г. следам, находится в 2 км ниже устья на высоте 2100 м.

Данные об изменениях Джаловчатского очага в первые годы после катастрофы отсутствуют. Альпинистское освоение долины Адыр-Су было прервано из-за Великой Отечественной войны. Хотя в 1946–1948 гг. была проведена реконструкция многих разрушенных объектов альпинистской инфраструктуры Северного Кавказа [Кудинов, 1948], но альплагеря “Сталь” и “Молния” более не восстанавливались.

Балкарское население долины в 1944 г. подверглось репрессиям и депортации. По Указу Президиума Верховного Совета СССР от 8 апреля 1944 г., граница между Грузией и Российской Федерацией была перенесена с Главного Кавказского хребта к северу, и на протяжении ряда лет проходила по реке Адыр-Су [Указ..., 1944]. Зона аккумуляции Джаловчатского катастрофического селя была в этот период разделена на части российско-грузинской административной границы.

4.1.4. Стадия межкатастрофической эволюции: состояние через 62 года

По материалам И.Б. Сейновой, селепроявления в бассейне Джаловчат отмечались в 1953, 1966, 1975, 1977, 1983 и 1995 гг. Все сели были небольшими по объему и, кроме 1953 г., имели ливневой генезис [Сейнова, Золотарев, 2001].

Наше исследование бассейна проведено через 62 года после катастрофы, в августе 2002 г. Воронка, в которой зародился сел 1940 г., находится на высоте

2690 м. Уклон русла ниже вершины около 0,20 – 0,30. Выше очага зарождения селя 1940 г. имеется озеровидное понижение, однако объем воды, которая могла в нем быть аккумулирована, несопоставим с объемом ее в селевой массе. Как нередко бывает при анализе крупных селей, не вполне ясно, где могло накопиться большое количество воды, участвовавшей в селевом потоке 1940 г.

Эпикатастрофические изменения заметны даже без инструментальных измерений (рис. 4.2). Сравнение космического снимка сентября 2001 г. с топографи-

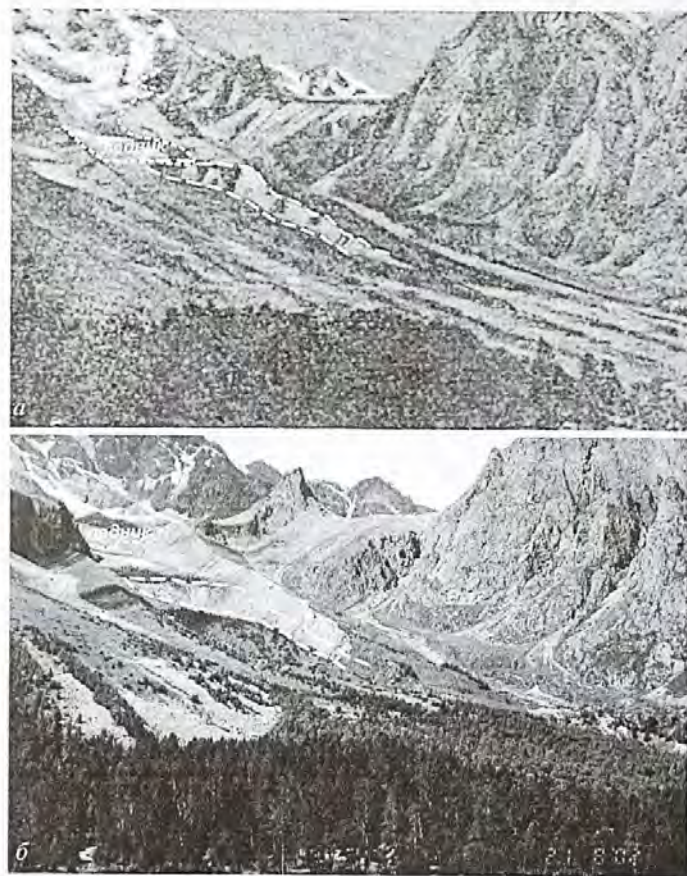


Рис. 4.2. Повторные снимки очага зарождения Джаловчатского селя
а – после катастрофы 1–3 августа 1940 г. [Ковалев, 1957]; б – 21.08.2002 г. Длинным пунктиром показано положение бровки верхней части очага после селя 1940 г., коротким пунктиром – граница ледника в 1940 и 2002 гг.

ческой картой конца 1950-х гг. и снимком 1979 г. показывает, что деградация ледников за последние десятилетия привела к удалению ледника №70 от очага зарождения селя 1940 г. Конец ледника в настоящее время находится в 650 м от воронки 1940 г. Язык ледника спускается примерно до высоты 2900 м. Следы селевой деятельности на участке между фронтом ледника и воронкой 1940 г. отсутствуют. По мнению П.В. Ковалева, зарождение селя началось от ледника, поскольку в бортах обнажился лед. Однако, возможно, это были отделившиеся массы мертвого льда, а не активный ледник. Сравнение космического снимка 2001 г. с топографической картой (съемка проводилась в 1957–1959 гг.) показывает, что в последние десятилетия происходила деградация ледников, в том числе исчезновение ряда малых висячих глетчеров (см. рис. 4.1). Отступление ледника №70, видимо, ускорилось в последние десятилетия. Между 1979 г. и 2002 гг. произошло отчленение перед фронтом ледника еще одного массива мертвых льдов протяженностью около 300 м (рис. 4.3, 4.4). В 2002 г. почти все пространство между воронкой и ледником занимал каменный глетчер.



Рис. 4.3. Джаловчатский селевой очаг в 1979 г.
Перспективный аэроснимок (фото С.Я. Кирпиченкова)



Рис. 4.4. Состояние участка зарождения Джаловчатского селя 1940 г. через 62 года после катастрофы

1 – точка зарождения селя 1940 г.; 2 – каменный глетчер; 3 – ледник № 70

На рисунке 4.5 приведены данные П.В. Ковалева и результаты полевого картографирования бровок селевого вреза в августе 2002 г., осуществленного путем обхода бровок с автоматической записью полученных данных из приемника GPS в карманный компьютер. Произошло расширение бортов вреза, уменьшение крутизны склонов на многих участках до 30–35°. Быстрое осыпание на склонах сменилось медленной дефлюкцией. По-видимому, можно говорить об относительном динамическом равновесии поперечного профиля склонов, что подтверждается их задернованностью. На конусах выноса на отложениях 1940 г. вырос сосновый лес.

По нашей оценке, объем выноса из селевого очага Джаловчат в 1940 г. вряд ли превышал 2 млн. м³. Рассчитанный П.В. Ковалевым объем, интерпретировавшийся впоследствии как объем выноса 1940 г., по-видимому, включал объем балки, существовавшей ранее. По бортам вреза сохранились фрагменты поверхностей, имеющих, по проведенной нами лихенометрической датировке, возраст ранее 1940 г.

Последовательность литодинамических зон для селя 1940 г. включает денудационную и аккумулятивную зоны, без участков промежуточного транзита. При этом в ходе селя происходило подпруживание р. Адыр-Су, кратковременное накопление воды перед селевой плотиной и формирование нового селя по основной

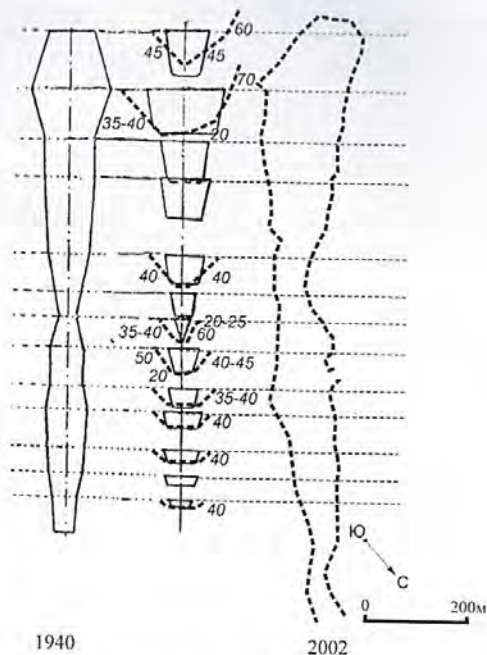


Рис. 4.5. Форма в плане и поперечные профили селевого очага Джаловчат в 1940 г. и 2002 г. Слева сплошной линией – схематический “план и профиль оврага, вырытого селом” [Ковалев, 1957, с. 137]. Справа жирным пунктиром – контур бровок по данным полевого картографирования 21.08.2002 г. с помощью записи результатов спутникового позиционирования. В центре – поперечные профили очага (сплошной линией – в 1940 г. по рисунку П.В. Ковалева, жирным пунктиром – по состоянию на 2002 г.). Курсивом показана крутизна бортов вреза в 2002 г. (в градусах)

реке. На зоны 1940 г. наложены зоны недавних селей, которые, зародившись от другого очага, сходят по тому же руслу, что и сели 1940 г. Небольшие выносы селевой массы на грунтовую дорогу Верхний Баксан – альплагерь “Уллу-Тау” связаны с работой этого нового очага зарождения – небольшого вреза правого притока ручья Джаловчат, впадающего в 200 м к востоку от воронки 1940 г. (рис. 4.6). Глубина вреза достигает 15 м, длина 150 м. Возможно, именно благодаря постоянной селевой деятельности (повторяемость 5–15 лет) выполаживание бортов балки Джаловчат достигло значительной величины. Сели последних десятилетий не приносили значительных разрушений.

Изучение Джаловчатского селевого очага 1940 года показало, что в настоящее время не наблюдается признаков перехода к стадии новой предкатастрофической подготовки. Предполье ледника покрыто мертвым льдом, бронированным море-



Рис. 4.6. Изменения путей схода селей в долине Джаловчат в период межкатастрофической эволюции

а – верхняя часть очага; *б* – нижняя часть очага. 1 – путь селя 1940 г.; 2 – место подпруживания р. Адыр-Су и образования эфемерного озера 1 августа 1940 г.; 3 – путь селей в конце XX в.

ной. Каменный глетчер не имеет признаков значительной активизации. Отсутствует накопление водных масс в эфемерных озерных ваннах.

Возможно, будущим исследователям, наряду с очагом 1940 года, следует обратить внимание на западную часть бассейна. В очагах долины левой составляю-

шей ручья Джалоичат, у края ледников 68 и 69, катастрофические сели за последние 100 лет не формировались. Однако морфологическое строение бассейна, значительные объемы льдонасыщенных моренных масс, наличие небольших озер и следы селевых потоков позволяют предположить, что здесь вполне возможно образование нового значительного селевого вреза.

4.2. Бассейн Куллумкол-Су и последствия катастрофы 1983 года

4.2.1. Строение очагов бассейна Куллумкол-Су

Река Куллумкол-Су является правым притоком реки Адыр-Су. Водораздел бассейна Куллумкол-Су проходит по хребту Адыр-Су и его отрогам. Основными вершинами водораздела являются пики Куллумкол-Баши, Тютю-Баши (наивысшая точка бассейна – 4404 м), Джайлык, Юном-Каратау, Ору-Баши, Адыр-Су, Химик. Бассейн реки имеет развитое оледенение (ледники № 82–88 по [Каталог ледников..., 1970]) (рис. 4.7). Самым крупным является долинный ледник Юном-Су. Рядом с ним в кармане морены расположены два недавно образовавшихся озера, пока не прорывавшиеся. Долина имеет ступенчатый продольный профиль, что связано с наличием конечно-моренных валов.

Селевые потоки в долине Куллумкол-Су зафиксированы в 1958, 1961, 1973, 1975, 1977 гг. [Запороженко, 1985]. Верхнее течение реки не имеет прямого отношения к катастрофе 1983 г. Все значительные сели в долине до сих пор зарождались на склоне морены ледника № 88 (по [Каталог ледников, 1970]), имеющего название Западный Тютю (по другим материалам – Западный Джайлык). Водоток, начинающийся от ледника, впадает в р. Куллумкол-Су справа.

С 1949 г. на конусе выноса р. Куллумкол-Су существовал один из лучших альплагерей СССР – “Джайлык” (первоначальное название – “Металлург”). Для защиты альплагеря проводилось проектирование защитных мероприятий [Запороженко, Кайнер, 1978], но строительство не началось.

4.2.2. Стадия предкатастрофической подготовки

Во второй декаде июля 1983 г. на Центральном Кавказе стояла жаркая погода, причем в ночное время нулевая изотерма находилась выше ледниковых языков. В предкатастрофическую стадию был зафиксирован сель-предвестник 16 июля. Селевой процесс начался в 16.50, и через 50 минут образовался желоб 4 м глубиной и до 4 м шириной. Первая волна закончилась в 18.30, а в 21.50 была отмечена

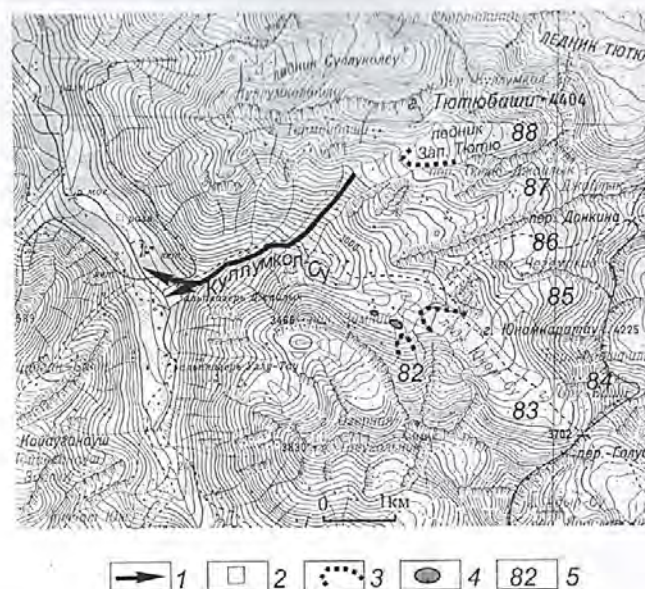


Рис. 4.7. Бассейн Куллумкол-Су

1 – путь катастрофического селя 19 июля 1983 г.; 2 – положение альплагеря “Джайлык” до 1983 г.; 3 – границы фронта некоторых ледников в 2002 г.; 4 – озера, появившиеся после составления топографической карты; 5 – номера ледников по [Каталог ледников..., 1970] Топографическая основа по [Кабардино-Балкарская..., 2001] (съемка проводилась в конце 1950-х гг.)

итория. Материал отложился у подножия моренного уступа, селевые волны не дошли до р. Куллумкол-Су. Под руководством Э.В. Запороженко были организованы наблюдения на морене ледника Западный Тютю, в месте потенциального зарождения селя. По радиосвязи информация о состоянии очага передавалась руководству альплагеря [Запороженко, 1998]. Основными результатами предкатастрофической подготовки, по-видимому, следует считать накопление воды в льдонасыщенной морене, нарушение сплошности и потеря устойчивости моренного массива и значительные расходы воды в ручье, вытекавшем из-под ледника. Однако катастрофическое развитие процесса началось после “начального импульса” – ливня в ночь на 19 июля.

4.2.3. Характеристика катастрофы 1983 года

Ход катастрофы рассматривался в ряде публикаций [Громов, Кайнер, 1984; Запороженко, 1985, 1998; Кайнер, Громов, 1984; Никулин и др., 1987]. Дождь

над мореной начался в 23 ч. 18 июля, а к 4 ч. утра он приобрел ливневой характер. В 5.20 началось массовое обрушение стенок селевого желоба. К 6 часам сель достиг р. Куллумкол-Су. В результате селя сформировался новый врез, не существовавший ранее. Согласно Э.В. Запороженко [1985, 1998], формирования временных озер (кроме верхнего участка морены над очагом) и тем более их прорывов не отмечалось. За 19 июля в течение 6,5 часов сошли 6 селевых волн, последняя из которых в 11.38 завершила разрушение лагеря. Время добега волн от воронки зарождения до р. Куллумкол-Су (2250 м) составляло минимум 8–10 минут, а затем от р. Куллумкол-Су до вершины конуса выноса (1900 м) – 4–11 минут. Проходили как водокаменные, так и высокоплотные грязекаменные сели. К вечеру 19 июля селевой желоб имел ширину 35–40 и глубину 35–40 м в точке зарождения. Ниже глубина уменьшилась до 10, затем до 5 м. В средней трети вреза вскрылось коренное ложе.

Объем селевой массы, отложившейся на конусе в районе альплагеря “Джайлык”, по расчетам составил 330 тыс. м³, суммарный объем выноса в твердой фазе – 620 тыс. м³. Средняя мощность отложений на конусе составила 2,5 м, максимальная – 7 м. Скорость селя при выходе на конус выноса равнялась в среднем 5 м/с. Плотность селя в этой точке достигала, по оценкам, примерно 2,1–2,2 т/м³. Повторяемость катастрофического селя 1983 года оценивалась по фитоиндикационным признакам как один раз в 500–1000 лет [Запороженко, 1985].

Длина пути селя от точки зарождения до точки затухания составила примерно 2,7 км. По устному сообщению Н. Ефимовой, рано утром альпинисты и сотрудники лагеря были выведены из помещений по тревоге. Разрушенными оказались спальные корпуса, хозяйственные постройки, здание столовой.

Балансовая стоимость лагеря (не считая личного имущества) составляла 4,2 млн. руб. в ценах 1983 г. [Запороженко, 1998], и основная часть его оказалась уничтоженной. Восстановление альплагеря “Джайлык” впоследствии проводилось в другом месте. Благодаря системе оповещения, из 240 человек никто не пострадал.

4.2.4. Стадия эпикастрофической адаптации

Э.В. Запороженко наблюдал очаг зарождения катастрофического селя в течение последующих трех лет (1984–1986 гг.). 5 сентября 1986 г. на моренном уступе (или “моренном пьедестале”, по классификации М.Д. Докукина [1993]) образовался новый очаг и сошел небольшой сель, в результате которого у подножия пьедестала отложилось около 12 тыс. м³ материала. Новый сель сошел при отсутствии осадков и чуть повышенной температуре. Причиной его Э.В. Запороженко считает изменение подземных путей стока и перераспределение поверхностного ледникового стока в привершинной части морены [Запороженко, 1998]. Сель не дошел до р. Куллумкол-Су. Таким образом, вероятно, завершилась стадия эпи-

катастрофической адаптации. В результате вытравливания мертвых льдов исток реки от ледника № 88 (Зап. Тютю) выше очага 1983 года оказался перехваченным. Поэтому новые катастрофические сели по тому же пути представляются невозможными. Однако на других участках морены с большой степенью вероятности могут образоваться новые врезы.

4.2.5. Состояние через 19 лет после катастрофы

На стадии межкатастрофической стабилизации нами были проведены обследования бассейна Куллумкол-Су в 1988, 1998 и 2002 гг. В августе 2002 г. сравнивалась форма очагов с их морфологическим строением, зафиксированным фотографиями и тахеометрическими съемками конца 1970-х и начала 1980-х гг. Анализ результатов показывает, что к 1988 г. существенные эпикастрофические изменения вреза 1983 г. уже завершились, и в дальнейшем переработка была незначительной.

На морене ледника Западный Тютю, помимо вреза 1983 г., имеются врезы 1986, 1973 гг. (рис. 4.8) и два более старых вреза. В 1986 г. (4 сентября) вся селевая масса отложилась в пределах нижней части моренного пьедестала. Врез 1986 г., по нашей оценке, имеет объем не менее 120 тыс. м³. Ледник Западный Тютю за прошедшие 19 лет отступил примерно на 100–120 м. В результате деградации массива мертвых льдов на предполье ледника сток оказался перехвачен врезом 1986 г. (рис. 4.9а).

Выше воронки вреза 1983 г. сохранилась цепочка термокарстовых западин, образовавшихся в результате фильтрации талых вод в льдонасыщенную морену перед началом селя (рис. 4.9б). Глубина западин составляет 2–4 м, диаметр – около 20–30 м. Вероятно, перед катастрофой происходило накопление воды в моренной толще и разжижение льда, завершившиеся потерей устойчивости, формированием сплыва и началом сдвигового селевого процесса.

В отличие от селевого очага в долине Джаловчат, Куллумкольский врез 1983 года сохранился лучше и имеет достаточно крутые борта. В районе воронки под бортами вреза, которые в 1983 году были субвертикальными (рис. 4.10а), образовались небольшие осыпные шлейфы. Шлейфы немного переработаны плоскостным смывом, местами переходившим в бороздчатую эрозию. Форма поперечного профиля стала U-образной. Величина отступания бровок в стадию эпикастрофической адаптации была, видимо, незначительной: стенки отступили от положения 1983 года лишь на несколько метров. Крутизна стенок в воронке зарождения селя составляет 60–70°, что дает основание предположить наличие сохранившегося внутри морены ледяного ядра или льдистых грунтов. Высота бортов вresa в верхней части достигает 30 м, ниже уменьшается до 5 м (рис. 4.10б). Крутизна бортов уменьшается до 35–40°.



Рис. 4.8. Разновозрастные селевые очаги, сформировавшиеся в морене ледника Западный Тютю (снимок 2002 г.)

Выходы коренных пород в средней части вреза, отмеченные Э.В. Запороженко в 1983 г., в настоящее время прикрыты чехлом рыхлых отложений. Примерно в 500 м ниже воронки обнаружена небольшая микроселевая терраса, связанная с эпикатастрофической переработкой очага.

В нижней части моренного пьедестала произошло отложение части материала. Затем, после впадения водотока от ледника Западный Тютю в р. Куллумкол-Су, начинается транзитно-денудационная зона селя 1983 года. Она незначительно изменилась за прошедшие 19 лет (рис. 4.11). Ниже поток выходит на конус выноса, где произошла аккумуляция материала (рис. 4.12). В настоящее время на селевых отложениях 1983 года выросли сосны 8–9-летнего возраста.

Таким образом, литодинамическая структура селевого русла 1983 года включает следующие зоны: денудационную (врез, образовавшийся в моренном уступе), транзитную (участок выхода коренных пород), транзитно-аккумулятивную (внутридолинный конус выноса перед впадением в русло р. Куллумкол-Су), транзитно-денудационную (зона частичной подпитки вдоль русла р. Куллумкол-Су) и аккумулятивную (конус выноса в районе альплагеря “Джайлык”), и может быть представлена в виде:

Д – ТА – ТД – А

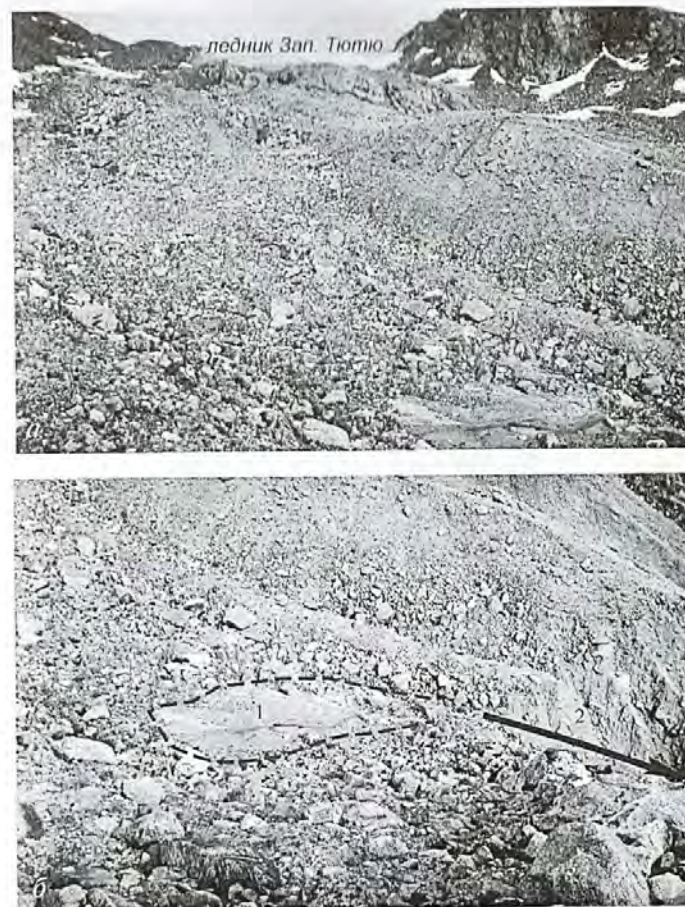


Рис. 4.9. Современное состояние зоны зарождения катастрофического селя 1983 г.

В результате вытаивания мертвых льдов и перестройки направления стока, врез 1983 г. в настоящее время является сухим. а – предполье ледника Западный Тютю; б – место зарождения селя 1983 г.: 1 – следы озеровидного понижения в точке зарождения селя; 2 – начало селевой воронки

В 1986 г. сел был менее мощным, что обусловило иную последовательность зон: денудационная, аккумулятивная, транзитная и вновь аккумулятивная (Д – А – Т – А). Объем вреза 1986 г., по нашей оценке, составлял в 2002 г. не менее 120 тыс. м³.

После селя 1983 г. не отмечались выходы погребенных льдов в бортах нового вреза (Э.В. Запороженко, устное сообщение). Однако представляется несомнен-



а



Рис. 4.10. Куллумкольский врез 1983 года

а – на стадии эпикатастрофической адаптации (конец июля 1983 г.). Вид снизу (фото С. Даниловой); б – на стадии межкатастрофической эволюции (22 августа 2002 г.). Вид сверху. Стрелкой показан путь движения селя 1983 г.

ным участие этих льдов в процессе. Иначе накопление воды не могло бы быть столь разрушительным. Дезинтеграция массивов погребенного льда привела к лавинообразному разрушению морены и образованию нового очага в месте, где ранее врез отсутствовал.



б

Рис. 4.11. Транзитно-денудационная зона катастрофического селя по р. Куллумкол-Су
а – на стадии эпикатастрофической адаптации (конец июля 1983 г.). Фото из фондов института "Сенкавинпроводхоз". б – на стадии межкатастрофической эволюции (22 августа 2002 г.)

Интересно попытаться подсчитать полный объем селевой массы в 1983 г. Будем исходить из объема в твердой фазе 620 тыс. м³, приводимого в статье Э.В. Запороженко [1985]. Плотность отдельных волн при выходе на конус оценивалась Э.В. Запороженко в интервале от 1,4 до 2,1–2,2 т/м³. По номограмме, приводимой в работе Ю.Б. Виноградова [1980], доля твердой составляющей при

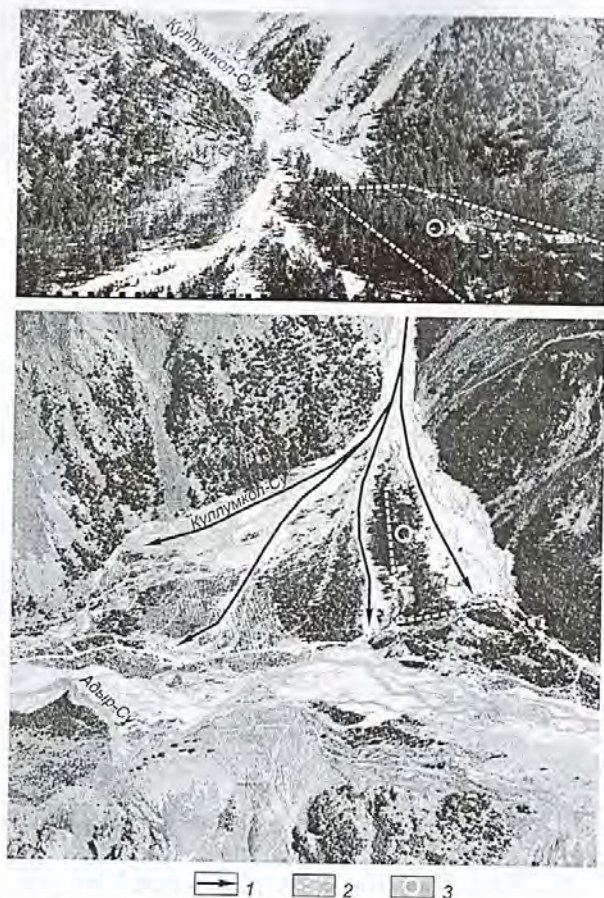


Рис. 4.12. Конус выноса р. Куллумкол-Су за 4 года до и через 7 лет после катастрофы 1983 г. а – перспективный аэрофотоснимок 1979 г. (фото С.Я. Кирпиченкова); б – плановый многоцветный аэрофотоснимок, синтезированный в искусственных цветах. Съемка Лаборатории аэрокосмических методов исследований ЦНИИС, борт оператор В.П. Олохтонов, 23 августа 1990 г. 1 – пути движения селевых волн 19 июля 1983 г.; 2 – территория бывшего альплагеря “Джайлык”; 3 – уцелевшее в 1983 г. здание, где в 2002 г. размещается пост пограничной службы

плотности $1,4 \text{ т/м}^3$ должна быть около 20 %, при плотности $2,2 \text{ т/м}^3$ – около 70 %. Тогда верхнюю границу значений полного объема селя можно оценить в

$$W = 620:0,70 \approx 886 \text{ тыс. м}^3$$

Нижнюю границу значений можно оценить в:

$$W = 620:0,20 = 3100 \text{ тыс. м}^3$$

Можно предположить, что реальное среднее соотношение между твердой и жидкой составляющими селя было примерно равным. Общий объем селя в этом случае можно оценить примерно в 1200 тыс. м^3 .

Признаков перехода к стадии новой предкатастрофической подготовки не наблюдается. Воронка 1983 г. является практически сухой, водосбор ее ограничен небольшим примыкающим участком морен и мертвых льдов (см. рис. 4.9). Поэтому можно полагать, что повторные катастрофические сели по каньону 1983 г. в будущем невозможны. Однако не исключено катастрофическое развитие событий через врез 1986 г. или зарождение селя на другом участке моренного пьедестала. Средняя крутизна уступа морены в верхней части составляет около 25° , что создает благоприятные условия для развития селей в потенциальных селевых массивах. Наряду с тем, что крутизна является достаточной для развития сдвигового процесса, имеется возможность предкатастрофической концентрации талой и ливневой воды в моренной толще.

Выводы

Данные по бассейнам Джаловчат и Куллумкол-Су позволяют сформулировать геоморфологические признаки стадии межкатастрофической эволюции:

1. Ледники и массивы мертвого льда удалены от очагов, работавших во время катастрофы, на несколько сотен метров.
2. Отсутствуют водоемы-накопители – озера, озеровидные задровые площадки, подледные полости.
3. Поперечный профиль селевого вреза, вместо узкой теснины с крутизной склонов $70\text{--}100^\circ$, сформированной при катастрофе, отличается более пологими бортами: до $40\text{--}50^\circ$, а по прошествии нескольких десятилетий – до $30\text{--}35^\circ$. В бортах отсутствуют выходы погребенного льда.
4. В днищах селевых долин на пути водотоков исчезают массивы, образовавшиеся вследствие разрушения морен при катастрофе, сложенные льдистыми грунтами и мертвыми льдами.

Перечисленные признаки выделены предварительно. Для их уточнения и корректировки в будущем желательно провести исследования других бассейнов на стадии межкатастрофической эволюции, в том числе за пределами Центрального Кавказа.

Глава 5

ГЕНАЛДОНСКАЯ ГЛЯЦИАЛЬНАЯ КАТАСТРОФА И НАЧАЛО СТАДИИ ЭПИКАТАСТРОФИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

Вечером 20 сентября 2002 года около 20 часов в долине реки Геналдон в Северной Осетии произошла крупнейшая в истории современной России гляциальная катастрофа. Гигантский вал воды, льда и камней пронесся вниз по долине, сметая все на своем пути. Грандиозная по объему ледово-каменная масса была остановлена тесниной Скалистого хребта, а селевые потоки, порожденные ей, не дошли до селения Гизель всего 2 км. В результате стихийного бедствия были уничтожены нежилой корпус санатория "Кармадон", база отдыха Северо-Осетинского государственного университета (СОГУ), база отдыха республиканского Министерства юстиции, разрушены линия электропередач протяженностью 1,5 км, строящаяся ветка газопровода, очистные сооружения санатория "Кармадон", скважины водозабора минеральных источников с накопительными емкостями, подтоплена база отдыха СПТУ-7. По официальным данным на 10 ноября 2002 г., были обнаружены останки 18 погибших, пропавшими без вести считались 108 человек.

Гляциальная катастрофа 2002 г. стала неожиданностью для федеральных и региональных органов власти. Между тем, подобные события происходили здесь и ранее. Имеются сведения о катастрофе около 1835 г. [Рототаев и др., 1983]. Тогда, по некоторым данным, было уничтожено селение Генал, расположенное у подножия Скалистого хребта [Штебер, 1903]. Через 67 лет, в 1902 г., другая ледниковая катастрофа унесла жизни более чем 30 человек, ледовая масса остановилась у селения Тменикау [Поггенполь, 1905; Штебер, 1903; Обвал..., 1904]. Наконец, еще через 67 лет произошла подвижка ледника Колка, начавшаяся осенью 1969 г. Он продвинулся вниз по долине более, чем на 4,5 км, возникла угроза катастрофических селей. Подвижка 1969–70 гг., ее причины и последствия были детально изучены специалистами ИГ АН СССР [Рототаев, 1974; Ходаков, 1974; Рототаев и др., 1983].

По телевидению и в прессе было высказано множество мнений, с большей или меньшей степенью достоверности говорящих о причинах катастрофы

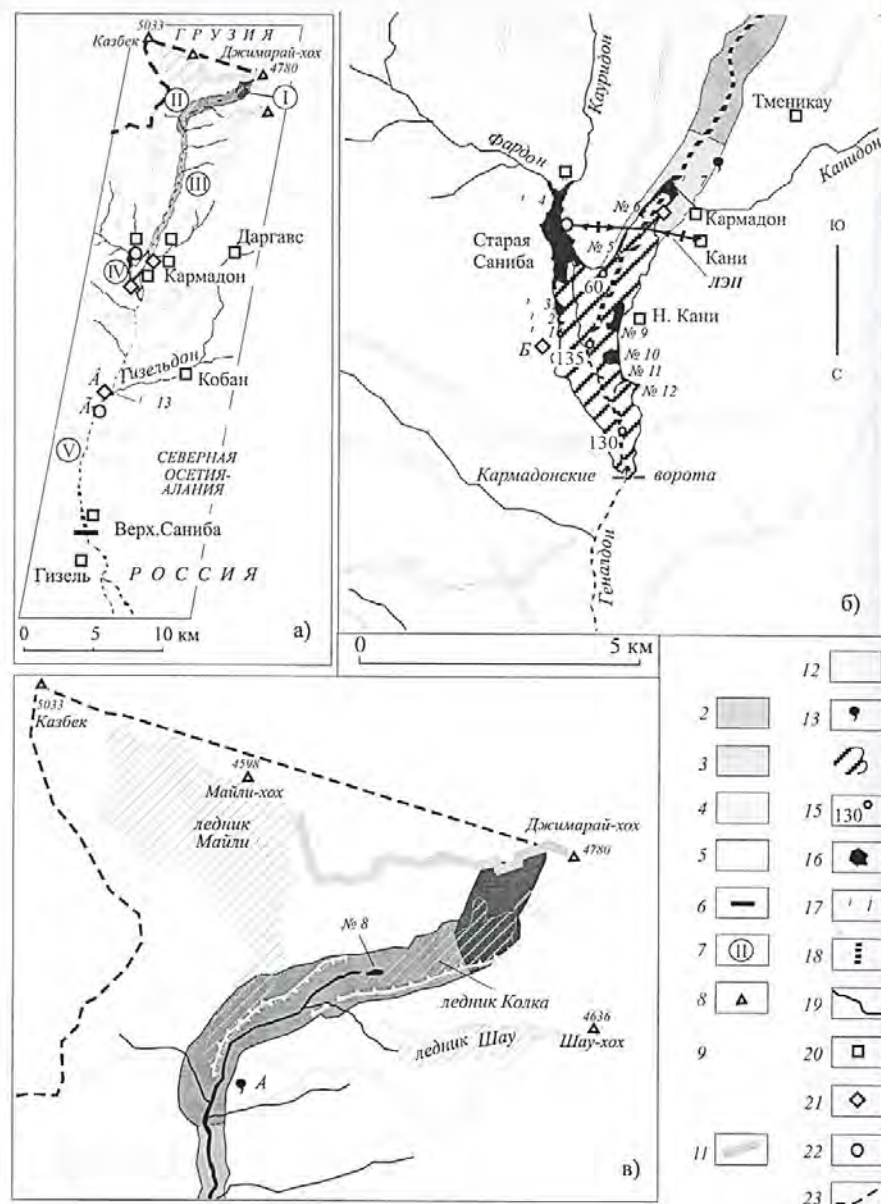
2002 г., механизме ее развития и возможностях прогнозирования ситуации. Однако детальный анализ ситуации в научной печати только начинается. Так, автор совместно с В.В. Поповниным, Д.А. Пистраковым и О.В. Тутубалиной участвовал в написании коллективной работы, рассматривающей особенности катастрофы и эпикатастрофических изменений [Поповнин и др., 2003], а также в подготовке материалов для Интернет-страниц Национального аэрокосмического агентства США с анализом событий в долине р. Геналдон [Mount Kazbek, 2002a, б]. Представляется важным изучить имеющиеся данные, а также выдвинутые версии о причинах происшедшего. Поскольку в скором будущем многие следы катастрофы могут исчезнуть или измениться, необходимо выявить морфометрические характеристики вызванных катастрофой изменений ледников и рельефа Геналдонского ущелья, оценить ход динамики новых озер, образовавшихся в результате эпикатастрофических событий.

5.1. Строение долины

Зона катастрофы 2002 года вытянута вдоль всего русла р. Геналдон до ее впадения в р. Гизельдон и, кроме этого, захватывает участок долины Гизельдона ниже точки слияния (рис. 5.1). Долина р. Геналдон направлена субмеридиально и представляет собой прямолинейный трог. С юга она ограничена Казбекско-Джигмарайским горным массивом (г. Джигмарай-хох – 4780 м, г. Майли-хох – 4598 м). Рядом с водоразделом бассейна находится г. Казбек (5033 м). В верховьях долины расположен мощный узел оледенения, площадью около 13 км². Крупнейший в нем ледник Майли, площадью около 7 км², дренирует северо-западные склоны Казбека и спускается до высоты 2300 м [Каталог..., 1977]. Чуть ниже его языка, на оротографически левом борту долины, расположены горячие Верхне-Кармадонские источники. Тыловая часть долины к западу от Майли занята ледником Колка. Этот карово-долинный ледник площадью 2,5 км² и длиной 3,1 км относится к категории пульсирующих.

Основным источником поступления вещества на поверхность ледника Колка служит не выпадение твердых осадков, а сход снежных лавин и ледовых обвалов со стесы Джигмарай-хоха [Рототаев и др., 1983]. По состоянию на осень 2001 г., над Колкой находилось 13 висячих ледников. Язык Колки оканчивался на высоте 2950 м, по линза мертвых льдов, забронированная мощным моренным чехлом, спускалась по меньшей мере до высоты 2300 м. Конец языка считается истоком р. Геналдон. До 2002 г. на начальном трехкилометровом участке русла до слияния с водотоком от ледника Майли его уклон составлял 0,25, а ниже до Скалистого хребта уменьшался до 0,08.

Характерной особенностью долины является отсутствие конечно-моренных гряд на ее днище. Через 12 км от истока река входит в обширную Кармадонскую



котловину, где расположены пос. Кармадон, селения Тменикау, Кани, Нижнее Кани, Старая Саниба. Затем она прорезает Скалистый хребт по теснине, называемой Кармадонскими воротами. До катастрофы через Кармадонские ворота проходила автодорога с тремя тоннелями. Ниже теснины при впадении Геналдона в Гизельдон располагалась база отдыха СОГУ. Далее долина расширяется, на берегах р. Гизельдон находятся селения Саниба и Гизель (см. рис. 5.1).

5.2. Методика исследований и использованные материалы

Для работы использовались описания и фотографии, сделанные в ходе полевых обследований 22 сентября 2001 г. и 3–7 октября 2002 г., материалы перспективных вертолетных цифровых съемок 22 сентября 2002 г. (А.П. Полквой), 24, 25 сентября и 6 октября (И.В. Галушкин), плановых и перспективных вертолетных съемок 7 октября (М.Ю. Никитин), наземных цифровых съемок 22 сентября и 7 октября (И.В. Галушкин), 20 октября 2002 г. (О.Н. Рыжанов). Анализировались также снимки, сделанные в начале мая 2002 г. московскими туристами Б.В. Малаховым и Н.В. Обуховой и в конце августа – начале сентября 2002 г. – краснодарской туристской командой “Форпост” (Д.Е. Солодкий).

Измерения длин, площадей и объемов проводились, в основном, по плановым космическим снимкам до и после катастрофы: Landsat ETM+ 16 октября 2000 г. и 2 июля 2002 г. (панхроматическая зона с разрешением 15 м, видимые и ближняя инфракрасная зоны с разрешением 30 м, приведенные к 15 м), Terra ASTER 22 июля 2001 г., 3 октября 2001 г., 27 и 29 сентября 2002 г., 6, 13 и 22 октября 2002 г. (видимые и ближняя инфракрасная зоны с разрешением 15 м), IRS LISS/Pan 19 октября 2002 г. (панхроматическая зона с разрешением около 5 м, красная и зеленая зоны с разрешением 23 м, приведенные к 5 м). Снимки

Рис. 5.1. Зона Геналдонской катастрофы 2002 года от г. Джимарай-хох до места окончания целевого потока [Поповнин и др., 2003].

Авторы: Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина, С.С. Черноморец.

а – карта; б – врезка на участок ледового тела в Кармадонской котловине; в – врезка на участок начала катастрофы. 1 – зона фирново-каменно-ледовых обвалов (I); 2 – зона начального движения (II); 3 – зона ледово-водно-каменного селя (3, 4); 3 – участок транзита (III), 4 – участок аккумуляции льда (IV); 5 – зона грязекаменного селя (V); 6 – место перехода селя в наносоводный паводок; 7 – номера зон и участков; 8 – горные вершины; 9 – горные хребты; 10 – ледники (в границах 2001 г.); 11 – участок висячих ледников; 12 – береговые морены ледников Колка и Майли; 13 – минеральные источники; 14 – ледовое тело в Кармадонской котловине (на 6 октября 2002 г.); 15 – толщина ледового тела, м; 16 – временные эпикатастрофические озера (на 6 октября 2002 г.); 17 – номера временных эпикатастрофических озер; 18 – пойма рек Геналдон и Гизельдон до катастрофы; 19 – реки; населенные пункты: 20 – сохранившиеся, 21 – разрушенные, 22 – подтопленные; 23 – государственные границы. А–Г: А – Верхне-Кармадонские источники, Б – развалины с. Генал, В – база СОГУ, Г – база СПТУ-7

Landsat ETM+ и IRS LISS/Pan были предоставлены Инженерно-технологическим центром (ИТЦ) СканЭкс, а снимки Terra ASTER получены из системы EOS Data Gateway и из NASA Johnson Space Center. Использовались также снимки с борта Международной космической станции (МКС), сделанные длиннофокусной цифровой камерой Kodak 13 августа и 19 сентября 2002 г. (разрешение 5–6 м) в рамках программы "Ураган" (Л.В. Десинов) и предоставленные NASA Johnson Space Center. Снимки с МКС и ряд полевых материалов автора опубликованы на сайте NASA [Kolka..., 2002].

Для привязки и измерений привлекались топографические карты масштаба 1:50000, где рельеф и положение ледников отражены по состоянию на конец 1950-х гг., а для расчета объема ледового тела в Кармадонской котловине – топографическая карта масштаба 1:10000 и результаты тахеометрической съемки 28 сентября 2002 г., выполненной с применением безотражательного лазерного дальномера специалистами предприятия "Севостгеозо" В.Н. Дробышевым и В.В. Макликовым в масштабе 1:10000.

Измерения длин, площадей, объемов в зоне поражения проводились О.В. Тутубалиной с помощью программы ERDAS Imagine по снимкам. Во всех случаях измерялись горизонтальные проложения, а не физические длины участков. Искажения за рельеф не учитывались, однако они достигали значимых величин только в высокогорье, где по мере необходимости осуществлялась локальная географическая привязка.

Расчет объема ледового тела в Кармадонской котловине выполнялся путем сравнения топографической карты масштаба 1:10000 с результатами тахеометрической съемки от 28 сентября 2002 г. Для этого в программах ArcView и ERDAS Imagine были созданы цифровые модели рельефа Кармадонской котловины до катастрофы и поверхности ледового тела. Путем их наложения была получена модель толщины ледового тела с размером пиксела 4×4 м, а в итоге суммирование толщин для всех пикселов вычислен итоговый объем.

Составление карты зоны Геналдонской катастрофы 2002 г. проведено для отображения основных изменений в зоне катастрофы, путем дешифрирования космических снимков, на которых четко видны контуры зоны поражения и образовавшиеся озера. По изменению цвета и текстуры изображения достаточно хорошо выделяются залески на склонах в зоне прохождения ледово-каменного селя, а также контуры ледового тела.

Рисовка контуров осуществлялась в программе ArcView путем ручного цифрового рисования по экрану, с использованием ряда геоинформационных слоев, приведенных в единую проекцию (космических снимков Landsat ETM+ от 16 октября 2000 г., Terra ASTER 22 июля 2001 г., 27 сентября и 6 октября 2002 г., IRS LISS/Pan 19 октября 2002 г., листов топографической карты 1:50000), и с визуальной коррекцией по аэро- и наземным снимкам. Подобным же образом составлена карта динамики Санибанского озера.

5.3. Стадия предкатастрофической подготовки

В 2000 г. верховья Геналдона обследовались специалистами Росгидромета, при этом не было обнаружено ничего угрожающего.

В сентябре 2001 г. автором вместе с Д.А. Петраковым и О.В. Тутубалиной были обследованы ледники Майли и Колка, и последний имел типично отступающий вид, без признаков активизации. Перед Колкой отчетливо просматривались большие массивы мертвых льдов. Язык ледника был покрыт моренным чехлом (рис. 5.3а). На снимках туристов Б.В. Малахова и Н.В. Обуховой, сделанных в мае 2002 г., также не видно ничего необычного.

Последнее описание ледникового цирка Колка до катастрофы приводится со слов туристов О.В. Неподобы, Д.Е. Солодкого и А.В. Фалина. В конце августа и начале сентября 2002 г. ими отмечалась высокая активность обвальных процессов на склонах г. Джимарай-хох. Грохот обвалов слышался практически непрерывно. В верхней части ледника Колка наблюдался крупный конус выноса, сложенный обломочным материалом (рис. 5.3б). У края ледника Колка образовались три небольших озера. По каньону, в котором протекает водоток от ледника Колка, входили сели.

Информация о событиях, происходивших в верховьях Геналдона в последние дни недели перед катастрофой, почти отсутствует.

5.4. Реконструкция и масштабы событий 20 сентября 2002 года

Попытка восстановить последовательность событий в долине р. Геналдон вечером 20 сентября сделана на основе всех имеющихся в распоряжении материалов.

В 20 часов 08 минут 20 сентября 2002 г. включились датчики на сейсмостанциях Северной Осетии. Они зафиксировали сигналы, говорящие, видимо, о сотрясениях вблизи земной поверхности. По данным Э.В. Погода, продолжительность интервала записи события составила 3 минуты 33 секунды. В 20 часов 14 минут минут отключилось электричество в поселках вследствие обрыва ЛЭП, расположенной в 16,5 км ниже верхней части Колки. Участок долины от п. Кармадон до Кармадонских ворот оказался заполнен гигантским ледовым телом. Теснина Скалистого хребта остановила продвижение ледовой части массы, но не смогла предотвратить выброс вниз по долине значительного объема освободившихся при остановке льда воды, грязи и камней.

Облет зоны бедствия, предпринятый специалистами МЧС и Управления природных ресурсов по Республике Северная Осетия – Алания 22 сентября, показал наличие крупных отколов льда на висячих ледниках северной стены г. Джима-

рай-хох. Появилась версия, что первопричиной катастрофы стал гигантский ледовый обвал со склонов г. Джимарай-хох [Полквой, 2002]. Зародившись на высоте около 4200–4300 м, он преодолел более 1000 м по вертикали и обрушился на расположенный ниже ледник Колка.

Значительная часть ледника Колка была “выбита” обвалами и сброшена вниз по долине (рис. 5.3*в*). Затем гигантская масса устремилась вниз, вовлекая в движение рыхлые отложения, воду, мертвые льды. Часть материала двинулась по врезу, через который осуществлялся сток с Колки. Другая часть переклестнула через морену, разделявшую ледники Колка и Майли, прошла по языку Майли и соединилась с остальной массой.

После удара о Скалистый хребет основная часть льда остановилась и отложилась в Кармадонской котловине. Часть льда попала в приустьевую зону долины правого притока Геналдона – реки Кауридон, где впоследствии образовалось крупное подпрудное Санибанское озеро.

На заключительном этапе катастрофы произошло формирование грязекаменных селевых потоков ниже ледового тела, остановленного тесниной Скалистого хребта. Волна селя высотой до 30 м прошла вниз по долине. При выходе из теснины высота селевой волны уменьшилась, в районе впадения Геналдона в Гизельдон она не превышала 3–4 м. В пойме Гизельдона произошла аккумуляция селевых отложений, и выше с. Гизель сель трансформировался в наносоводный паводок.

Таким образом, можно выделить 4 основных этапа катастрофы [Поповнин и др., 2003]:

1. Ледово-каменный обвал или серия обвалов со склонов горы Джимарай-хох и удар в тыловую часть ледника Колка.

2. Начальное движение выбитой части ледника Колка вниз по долине. Условной нижней границей зоны начального движения можно считать поворот долины у языка ледника Майли.

3. Ледово-водно-каменный поток по долине Геналдона от языка Майли до Кармадонских ворот.

4. Грязекаменный сель от Кармадонских ворот до участка в 2 км выше с. Гизель.

На карте (см. рис. 5.1) показаны участки, соответствующие этим этапам. Зона ледово-водно-каменного потока разделена на участки транзита и аккумуляции.

После обрушения ледово-каменного материала висячих ледников, на леднике Колка образовалась западина корытообразной формы, протянувшаяся вдоль всего ледника. Лед оттуда был выброшен вниз по долине, и отдельные ледовые валы и блоки покрыли поверхность между ледниками Колка и Майли. Значительная часть поверхностной морены была сброшена вниз вместе со льдом, обнажился лед в ортографически левой береговой морене. Заплеск льда за эту морену, видимо, свидетельствует о больших скоростях движения обвала по поверхности Колки. В понижении ледового рельефа образовалось озеро.



Рис. 5.3. Участок начального движения масс ледника Колка и зарождения ледово-водно-каменного селя

а – на стадии межкатастрофической эволюции, 22 сентября 2001 г. (фото С.С. Черноморца), *б* – на стадии предкатастрофической подготовки, конец августа 2002 г. (фото Д.Е. Соловкова), *в* – через 2 дня после катастрофы, 22 сентября 2002 г. (снимок с вертолета А.П. Полквого). 1 – ледник Колка, 2 – висячие и присклоновые ледники на склонах г. Джимарай-хох, 3 – массивы мертвых льдов, покрытые мореной, 4 – ледово-каменные обвальные накопления на поверхности ледника, 5 – парение газа над местом удара, 6 – стенка отрыва смещенной части ледника, 7 – заплеск обвальной массы за левобережной мореной ледника, 8 – следы скольжения смещенной части ледника, 9 – котловина будущего Колкинского озера



а



б

Рис. 5.4. Следы процессов, происходивших при катастрофе в зоне транзита
а – склон выше уровня ледовых заплесков, присыпанный слоем летевших обломков; б – со-
ванные потоком склоновые отложения и деревья, поваленные ударной волной



Рис. 5.5. Зона аккумуляции ледово-водно-каменного потока (ледовое тело в Кармадонской кот-
ловине) и эпикатастрофические озера

НК – разрушенный поселок Нижний Кармадон. Космический снимок Quick Bird, 25 сентября
2002 г., совмещенное панхроматическое и многозональное изображение. Снимок: DigitalGlobe (http://www.digitalglobe.com/images/kobanvalley_russia_glacier_detail_col092502_dg.jpg).

Номера озер (№№4-7, 9, 10) соответствуют таблице 5.1



Рис. 5.6. Остановка ледовой массы у Кармадонских ворот
1 – направление движения потока до удара о Скалистый хребт; 2 – изменение движения после удара. Снимок с вертолета И.В. Галушкина, 6 октября 2002 г.



Рис. 5.7. Транзитно-аккумулятивная зона грязекаменного селя по р. Геналдон перед впадением в р. Гизельдон (участок разрушений на месте базы Северо-Осетинского государственного университета)

Селевая масса, содержавшая лед, сохраняла вязко-пластичную и вязко-текучую консистенцию длительное время после катастрофы. 7 октября 2002 г.



а



б

Рис. 5.8. Эпикатастрофические озера, возникшие после 20 сентября 2002 г.
а – Колкинское озеро, 20 октября 2002 г. (фото О.Н. Рыжанова); б – Генальская группа озер, 3 октября 2002 г. Номера озер даны в соответствии с таблицей 5.1



Рис. 5.9. Эпикатастрофические озера и поверхность ледового тела около п. Кармадон и с. Ниж. Кани у левого борта долины р. Геналдон
4-6 октября 2002 г. Номера озер даны согласно таблице 5.1. Стрелками показаны направления стока при спуске озерных волн



а



б



1



2

Рис. 5.10. Изменения в долине р. Геналдон в зоне транзита ледово-водно-каменного селя
а – до катастрофы (22 сентября 2001 г.) (фото О.В. Тутубалиной); б – после катастрофы (5 октября 2002 г.).
1 – границы заплесков ледово-водно-каменной массы; 2 – границы дна долины

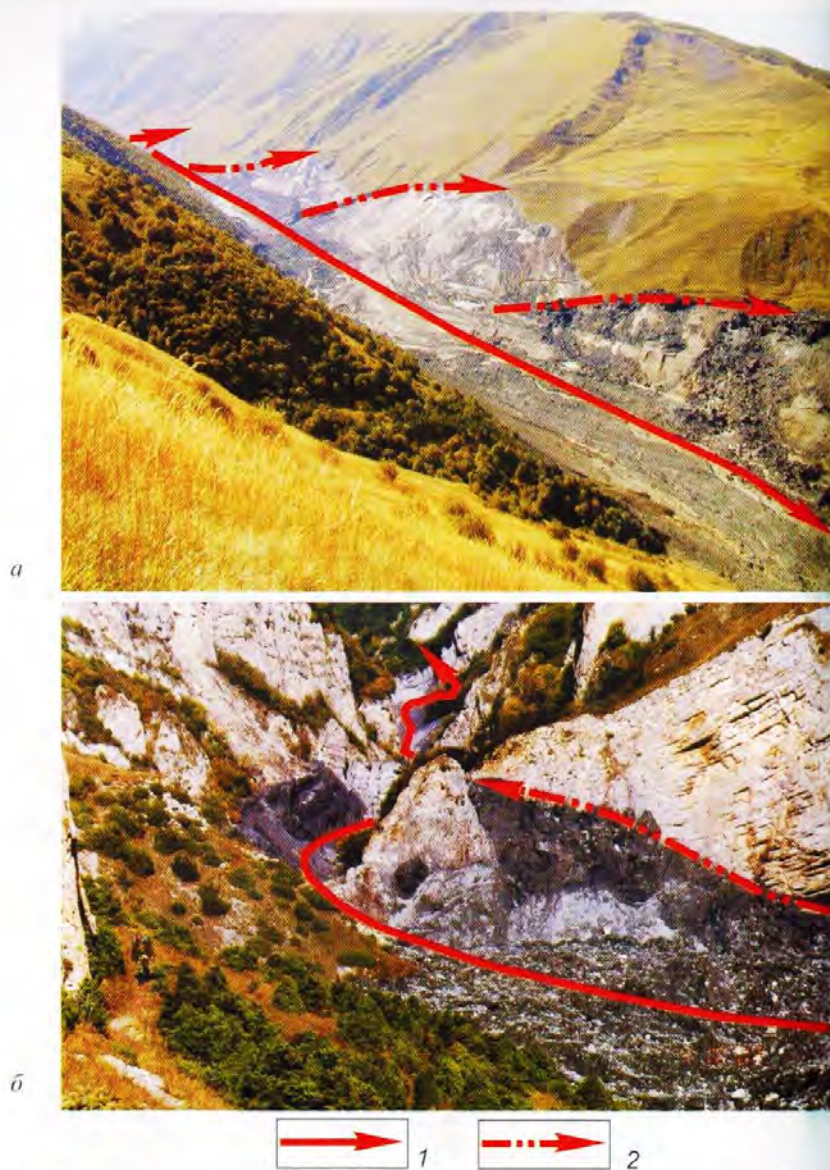


Рис. 5.11. Участки движения ледово-водно-каменного селя в долине р. Генадон с набором высоты

a – переход от зоны транзита к зоне аккумуляции в районе с. Тменикау, 22 сентября 2002 г. (фото И.В. Галушкина); *б* – нижняя часть зоны аккумуляции у Кармадонских ворот, 4 октября 2002 г. 1 – результирующее направление движения; 2 – участки движения с набором высоты

Ширина фронта движения в районе ледника Майли достигала 1 км. В этом же месте находился крупнейший заплеск, расположенный на высоте более 150 м над дном долины.

Ледово-каменная масса двигалась, переходя с одного борта долины на другой, вследствие этого заплески на бортах расположены несимметрично. Долина от языка Майли до п. Кармадон представляет собой область преимущественного транзита длиной 8,5 км. Характерный склон в зоне транзита показан на рисунке 5.2*a*. В ходе движения ледово-водно-каменной массы, происходившего в полосе шириной 400–500 м, высота волн достигала 100–150 м. По данным маршрутного обследования 5 октября, лед сохранился в зоне транзита в виде ограниченного числа небольших деградирующих массивов на дне долины. На склонах висячем положении остались крупные (размером в десятки метров) останцы льда, «впечатанные» в эрозионные ложбины и тальвеги, с включениями грубообломочного материала (см. рис. 5.2*б*). Выше заплесков проходила полоса травянистого склона, присыпанная слоем мелких обломков, летевших над движущимся потоком. Ширина полосы составила 10–20 м, мощность отложений достигала 3–10 см (рис. 5.4*a*). Преобладали обломки фракции песка, дресвы и щебня, отдельные обломки достигали размера 30–40 см. На правом борту долины деревья были повалены ударной волной (см. рис. 5.4*б*). Подрезка склонов привела к активизации оползней: по левому борту долины обнаружены оползни со свежими рвами отседания шириной до 2 м.

Ледово-водно-каменная масса, основную часть которой составлял лед Колки, прошла 19 км, от места падения на Колку до удара о Скалистый хребет. Площадь зоны поражения, подвергнутой непосредственному воздействию обвального и селевого процессов, составила 12,7 км², включая зону обвала, начального движения, прямолинейный участок транзита примерно до створа пос. Кармадон и участок аккумуляции, где сейчас находится ледовое тело. «Ледовым телом» мы имеем массив, состоящий преимущественно из льда, с небольшим содержанием водной и каменной составляющей, заполнивший долину в Кармадонской котловине (см. рис. 5.5). Его площадь, определенная по космическому снимку от 6 октября 2002 г., составила 2,1 км², длина 3,6 км, а толщина достигала в отдельных местах 135–140 м, при средних значениях около 60 м [Поповнин и др., 2003].

Полученное значение объема ледового тела (способ измерения описан в п. 5.2) составляет около 115 млн. м³. С учетом точности исходных материалов и методики подсчета, мы оцениваем погрешность определения объема как ± 10 млн. м³ [Поповнин и др., 2003].

Общий объем материала, вовлеченного в движение во время катастрофы, можно приблизительно оценить в 130–140 млн. м³. Точность этой оценки ниже, чем хотелось бы, в связи с отсутствием геодезических измерений в верховьях долины.



Рис. 5.2. Долина р. Геналдон в зоне транзита ледово-водно-каменного потока

Снимок 5 октября 2002 г. *а* – строение правого борта долины выше с. Тменикау: 1 – заплески льда и глыбы, впрессованные в боковые кулуары, 2 – продольные полосы, маркирующие движение потока, 3 – осыпи и оплывины на склоне, 4 – селевая терраса над руслом; *б* – массивы льда и камней, “впечатанные” в неровности склона

После удара о Скалистый хребет в районе Кармадонских ворот и остановки основной части ледовой массы (рис. 5.6), грязекаменный сель прошел 17 км при площади зоны поражения 3,0 км². Объем селевых отложений оценивается нами в 3–5 млн. м³. Средняя мощность селевых отложений от ворот до слияния Геналдо-

на и Гизельдона может быть оценена лишь приблизительно, но ниже бывшей базы СОГУ она составляет 1–2 м [Поповнин и др., 2003]. Вид транзитно-аккумулятивной зоны грязекаменного селя в районе базы СОГУ показан на рисунке 5.7.

5.5. Эпикатастрофический лимногенез

Одним из основных последствий катастрофы является появление динамичных временных озер выше ледового тела и на его поверхности. В ходе катастрофы и после нее образовалось большое количество свободной воды, часть которой оказалась заблокированной непрочными ледовыми массами, что привело к активному развитию термокарста и термоэрозии. Поиск новых каналов стока в теле ледового массива сопровождался как быстрыми, так и постепенными прорывами, при этом озера возникали, исчезали и менялись в размере. Для удобства описания, будем называть временные эпикатастрофические озера в соответствии с ближайшими населенными пунктами (в том числе разрушенными) или ледниками, к которым они приурочены: Колкинское, Санибанское, Генальская группа из 3 озер, Кармадонская группа из 3 озер, Канидонская группа из 4 озер, и Нижне-Кобанское. Озерам присвоены порядковые номера в направлении обхода долины по часовой стрелке. Площади озер, измеренные по космическим снимкам на две даты, приведены в таблице 5.1. Прочерк в таблице означает, что озера в данный

Таблица 5.1.

Площади временных озер, сформировавшихся после катастрофы 20 сентября 2002 г.

№ озера	Привязка положения озера	Площадь, тыс. м ²	
		27 сентября 2002 г.	6 октября 2002 г.
1	Генальская группа, правобережное	–	4
2	Генальская группа, правобережное	–	3
3	Генальская группа, правобережное	–	12
4	Санибанское, правобережное в устье р. Кауридон	218	262
5	Кармадонская группа, правобережное	10	7
6	Кармадонская группа, правобережное	5	5
7	Кармадонская группа, над ледовым телом под пос. Кармадон	50	36
8	Колкинское, на леднике Колка	–	24
9	Канидонская группа, левобережное	57	36
10	Канидонская группа, левобережное	50	32
11	Канидонская группа, левобережное	9	5
12	Канидонская группа, левобережное	9	5
13	Нижне-Кобанское, левобережное у впадения р. Геналдон в р. Гизельдон	13	6
Всего		421	437

момент не было. Измерения выполнены автором, опубликованы в работе [Поповнин и др., 2003]. Географическое положение озер показано на рисунке 5.1.

27 сентября существовали 9 четко различимых озер. К 6 октября озер было 13, площадь их составляла 437 тыс. м².

5.6. История возникновения и динамики Санибанского озера

Развитие Санибанского озера (№ 4 по таблице 5.1) представляет наибольший интерес, поскольку оно является самым крупным из новых озер. Площадь и объем озера росли с 20 сентября по 18 октября 2002 г. Формирование его началось сразу после катастрофы, но накопление основной массы воды произошло после прорывного селя 22 сентября.

На снимках, сделанных 22 сентября утром, видны следы оползня в ледово-каменных отложениях по левому борту долины р. Геналдон у п. Кармадон. Оползень перекрыл одну из протоков р. Геналдон, перед впадением ее в озеро №7. Видимо, выше оползневого тела произошло накопление водной массы, с последующей разгрузкой в озеро. На озере сформировался вытянутый залив в северной части. Затем по подледным каналам из озер 7 и 6 начала наполняться западина на поверхности льда, и образовалось новое временное озеро. Во второй половине дня 22 сентября произошел прорыв из него в Санибанское озеро, которое в тот момент имело площадь около 20 тыс. м². Грязекаменный поток прорвал ледовую перемычку. Произошел быстрый подъем уровня воды в Санибанском озере, и две улицы селения Старая Саниба ушли под воду. К 24 сентября, судя по аэроснимкам, площадь озера возросла примерно в 6 раз, а уровень поднялся более чем на 20 м.

Санибанское озеро в начальный период не имело поверхностного стока. Приток воды из рек Кауридон и Фардон 4 октября составлял около 1 м³/с. К северу от озера, под правым бортом долины, образовалась Генальская группа из трех озер, довольно быстро разраставшихся и постепенно слившихся друг с другом. Изменения Санибанского озера и озер Генальской группы до 19 октября 2002 г. показаны на рисунке 5.2.

Анализ цифровой модели рельефа, с учетом оценки подводного склона ледового тела, показывает, что за месяц в Санибанском озере накопилось не менее 3 млн. м³ воды, при максимальной глубине более 40 м. В начале октября его уровень рос примерно на 30–40, а затем на 20–25 см в сутки [Запороженченко, 2003а]. К 18 октября из Санибанского озера наметился сток под правым бортом долины в озеро Генальской группы. В ночь с 22 на 23 октября оформилось русло, состоящее из цепочки озер и проток между ними, длиной до 1,2 км. К 24 октября уровень Санибанского озера понизился на 1,7 м по сравнению с максимальными значени-

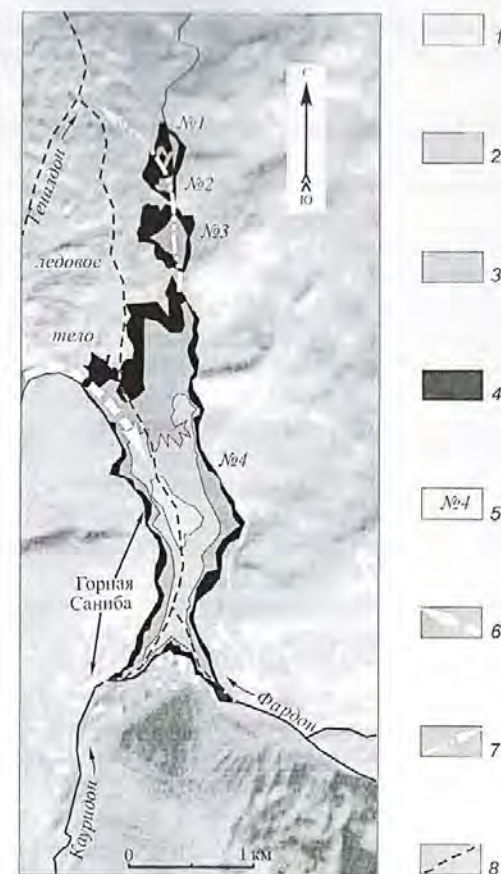


Рис. 5.2. Динамика размеров эпикатастрофических озер в районе селения Горная Саниба 1 – 22 сентября (до прорывного селя); 2 – 24 сентября; 3 – 6 октября; 4 – 19 октября; 5 – номера озер; 6 – направление прорывного селя 22 сентября; 7 – направление стока из Санибанского озера; 8 – положение русел рек до катастрофы. Номера озер приведены согласно таблице 5.1. Подложка – космический снимок IRS LISS/Pan, 19 октября 2002 г. Снимок предоставлен ИТЦ “СканЭкс”

ями, а еще через несколько дней – на 6 м. Воды Санибанского озера, через слившиеся Генальские озера и далее по вновь образовавшемуся тракту, стали уходить во внутренние полости ледового тела. Процесс перелива с конца октября 2002 г. по март 2003 г. не носил катастрофического характера. В летний период не ис-

ключены быстрые прорывы озерных вод через ледовое тело, с образованием паводков по рекам Геналдон и Гизельдон ниже Кармадонских ворот.

5.7. Изменения других временных озер

Фотографии ряда эпикатастрофических озер приведены на рисунках 5.8 и 5.9.

Появление Колкинского озера зафиксировано при маршрутном обследовании 5 октября 2002 г. Длина озера, определенная по космическому снимку ASTER от 6 октября, составляла 300 м, ширина – 80 м. На снимках 22–27 сентября Колкинское озеро отсутствует, хотя понижение, в котором среди ледовой шуги стала накапливаться вода, видно на аэроснимках с 22 сентября. Дно озера сложено льдом, выходы коренных пород на его берегах не прослеживаются. Через месяц после катастрофы оформилась хорошо выраженная озерная котловина, на берегах были видны следы начавшейся термоабразии (см. рис. 5.8а). В 1 км к западу от Колкинского озера, в месте падения обвалов на тыловую часть ледника, на аэроснимке 25 сентября было видно еще одно мелководное озеровидное образование. Обнаружить его на более поздних космических снимках не удалось, возможно, из-за малых размеров.

В начальный период после катастрофы происходил масштабный процесс перемещения водных масс в озерах ледового тела в Кармадонской котловине. Так, 22–24 сентября часть вод озера № 7, образовавшегося над ледовым телом, через подледные каналы переместилась к северу, при этом сформировалось озеро № 9 с селевым конусом выноса на поверхности льда. В последующие несколько дней под левым бортом долины образовалась цепочка из четырех озер (Канидонская группа), соединенных протоками. Ледяные перемычки были неустойчивыми, и происходили прорывы из вышележащих озер в нижележащие. Термокастовые и термоэрозийные процессы приводили к понижению отметок дна озерных котловин, а за ними и уровня озер. Так, следы более высоких уровней Канидонских озер находились 6 октября на высоте 10–12 м выше урезов воды. Поиск каналов стока в ледовом теле привел к образованию на озере № 11 водоворотов и интенсивного течения. После 7 октября это озеро прекратило существование, сток же р. Геналдон пошел от озера № 10 через подледные каналы.

Подпрудное Нижне-Кобанское озеро (№ 13) возникло при впадении р. Геналдон в р. Гизельдон, где селевые отложения Геналдона образовали плотину высотой около 3 м. Первоначальные предположения сотрудников МЧС о вероятном прорыве озера, приводившиеся в прессе, не подтвердились, поскольку высота плотины была небольшой, и перелив через нее оказался достаточно спокойным. В течение последующих двух недель верхняя часть озера была заилена наносами р. Гизельдон, нижняя же начала заполняться размытыми собственную плотину отложениями р. Геналдон.

5.8. Гипотезы о причинах возникновения катастрофы 2002 года

К настоящему времени высказаны три основных гипотезы о возможных причинах Геналдонской катастрофы: вулканическая (разогрев ложа ледников из-за повышенного теплового потока), сейсмическая (нарушение опоры висячих ледников вследствие подземных толчков) и метеорологическая (аномально снежная зима и дождливое лето).

Вулканическая гипотеза возникла после высадки группы специалистов под руководством В.Р. Болова на поверхность ледника Колки 25 сентября 2002 г. В точке посадки происходило сильное парение газа с сероводородным запахом (см. рис. 5.2в), поэтому исследователям пришлось немедленно подняться в вертолет и улететь. На аэроснимках А.П. Полквого и И.В. Галушкина от 22 и 25 сентября прослеживаются два объекта, которые некоторыми исследователями интерпретируются как фумарольные трубки на скальном уступе г. Джимарай-хох.

Подземные толчки могли способствовать уменьшению трения на ложе висячих ледников и активизации обвальной деятельности. В районе Верхне-Кармадонских горячих источников перпендикулярно долине проходит тектонический разлом. Учащение обвалов наблюдалось в августе–сентябре 2002 г. туристами О.В. Неподобой, Д.Е. Солодким, А.В. Фалиным, В.Д. Панов, Ю.Г. Ильичев и Н.М. Лурье высказывали точку зрения, что решающей причиной заклочительного обвала могло быть землетрясение, происшедшее 8 сентября 2002 г. в районе Черноморского побережья [Панов, 2002; Панов и др., 2002; Лурье, 2003].

Синоптические причины могли повлиять на накопление избыточных снежных масс и их увлажнение в летний период, что обусловило положительный баланс массы висячих ледников и накопление “критического объема”, вызвавшего обвалы ледовых масс. Однако как синоптическая, так и сейсмическая версии не объясняют, почему подобные события не произошли на других ледниках Центрального Кавказа.

Характерно, что схожие гипотезы назывались в качестве основных факторов катастрофы 3–6 июля 1902 года, вошедшей в историю как “Обвал Геналдонского ледника”. Остановка ледовых масс в 1902 г. произошла у с. Тменика, в 6 км выше Кармадонских ворот. По мнению некоторых жителей Тменика, причиной катастрофы было выпадение частых и сильных дождей, а Р.Р. Лейцингер указывал на влияние больших уклонов ложа ледника [Обвал..., 1904]. Э.А. Штебер [1903] называл причиной сильное таяние в сезон 1901 и в июне 1902 г., ослабившее “опоры” висячих ледников над Колкой, а также экстремальный ливень в начале июня; упоминая версии о связи обвала с землетрясениями и деятельностью горячих источников, он считал их маловероятными. Н.В. Поггенполь [1905] связывал причину происшедшего с Шемахинским землетрясением 1902 г., хотя эта точка зрения была позже подвергнута критике К.П. Рототеевым и соавторами

[Рототаев и др., 1983], которые показали, что отголосок того землетрясения в районе Казбека не мог достичь даже 1 балла по шкале Рихтера.

В образовании начального импульса катастрофы 2002 г., по-видимому, в той или иной степени участвовали все три вышеописанных механизма. По мнению автора, локализация событий вблизи активного в недавнем прошлом вулкана Казбек и периодическое повторение гляциальных событий схожего генезиса на его периферии (на ледниках Колка, Девдорак, Абано), по-видимому, говорит в пользу предположения о разогреве ледникового ложа тепловым потоком.

5.9. О скоростях и механизме движения потока

Обрушение каменных и ледовых массивов, явившееся начальным импульсом катастрофы, обусловило вовлечение в движение масс, превышающих их по объему во много раз. Удаление значительных объемов глетчерного льда Колки привело к формированию депрессий на месте ледникового языка, которые служат резервуарами для накапливающихся талых вод, образующих озера.

Ряд специалистов высказывали мнение, что событие 20 сентября 2002 г. в Геналдонском ущелье представляло собой очередную подвижку пульсирующего ледника Колка, случившуюся ранее прогнозируемого срока. По мнению К.П. Рототаева и соавторов [Рототаев и др., 1983], следующая после наблюдавшейся в 1969–1970 гг. пульсация ледника Колка предполагалась не ранее 30-х гг. XXI в., как это следует из цепочки дат известных событий в долине р. Геналдон: 1835, 1902, 1969 гг. В связи с этим предпринимались попытки объяснить, почему очередная подвижка произошла раньше, чем ожидалось. По аргументированному мнению В.В. Поповнина и Д.А. Петракова, с которым согласен автор, событие 2002 г. вряд ли вообще следует считать классической пульсацией [Поповнин и др., 2003]. С другой стороны, очередная подвижка Колки готовилась. Фотографии Д.Е. Солодкого, сделанные в конце августа, свидетельствуют о резком усилении обвальной деятельности и накоплении ледово-каменных масс в тыловой части ледника Колка в предкатастрофическую стадию.

Дискуссионным вопросом являются попытки определить скорость распространения ледово-водно-каменного потока вниз по ущелью р. Геналдон. Расшифровка сейсмограммы от 20 сентября свидетельствует о том, что фокус начального сигнала, зарегистрированного в 20 часов 08 минут, располагался вблизи дневной поверхности. Хронометраж между первым сейсмическим сигналом (если трактовать его как удар обрушившегося льда о долинную часть ледника Колка и об его левобережную морену) и обрывом ЛЭП через 5,5 минут приводит к среднему значению скорости порядка 180 км/час, или 50 м/сек. К сожалению, интерпретация сейсмограммы не является однозначной, поскольку датчики могли включиться уже в процессе движения потока. Часы на пункте управления, по которым было

зафиксировано время обрыва ЛЭП, не были синхронизированы с датчиками сейсмостанций.

Скорость потока при Геналдонской катастрофе 1902 г. оценивалась Э.А. Штебером в 6 верст за 5–8 минут, то есть примерно 80–120 км/час [Штебер, 1903]. Для сравнения, при Уаскаранской ледниковой катастрофе 1970 г. в Перу, когда ледовый обвал вызвал мощнейший водо-ледовый сель, скорости доходили до 360 км/час [Jätzold, 1971]. Сравнение уаскаранских и геналдонских событий проведено Э.В. Запороженко [2003 б].

Представляется, что ледово-водно-каменный поток 2002 г. мог достичь высоких скоростей за счет трех обстоятельств. Во-первых, разгон ледово-каменного материала в верхнем секторе своего пути мог быть облегчен продвижением его по кровле мертвых льдов, которые, по нашим исследованиям 2001 г., прослеживались в долине на расстоянии, по меньшей мере, 3 км ниже фронта ледника Колка (см. рис. 5.2а). Во-вторых, при быстром движении потока выделялось большое количество тепла, приводившее к таянию льда и увеличению доли воды в ледово-водно-каменной смеси. В третьих, значительную роль могла сыграть образовавшаяся при движении “воздушная подушка”.

5.10. Оценка предстоящих изменений

Имеющиеся данные не позволяют сделать достаточно четкие выводы о предстоящем развитии событий, поэтому попробуем выразить мнение о будущей динамике эпикатастрофических процессов в виде экспертной оценки.

В верховьях долины, по всей вероятности, будет происходить восстановление исчезнувших висячих ледников и Колки. Обвалы на стене г. Джимарай-хох будут продолжаться, но вряд ли следует ожидать повторения катастрофических обвалов: из-за уже удаленных объемов льда долинной части ледника Колка, обваливающиеся массы в ближайшее время не смогут набрать столь угрожающего потенциала. Возможны прорывы Колкинского озера, с образованием селевых потоков в верхней части долины.

В зоне транзита от ледника Майли до Кармадонской котловины остатки ледовых масс растают в течение одного-двух лет после катастрофы. Ледово-каменные заплески на склонах будут разрушаться путем осыпания и оползания в днище долины. Массивы льда в прирусловой части будут, помимо таяния, вовлекаться и в селевые процессы.

Ледовое тело в Кармадонской котловине будет таять существенно дольше. Дольше всего мертвые льды сохранятся, по-видимому, в осевой части долины, между селением Нижнее Кани и Кармадонскими воротами, где в настоящее время лед имеет наибольшую толщину. Расчеты, проведенные В.В. Поповниным [Поповнин и др., 2003] по формуле А.Н. Кренке и В.Г. Ходакова, 1966], показыва-

ют, что если бы тело аккумуляции состояло из чистого льда, то оно могло бы стоять за 7–8 лет, однако в реальности процесс поверхностного таяния будет идти гораздо медленнее из-за бронирующего эффекта твердого материала на дневной поверхности. Основной объем разрушения ледового тела, по-видимому, будет связан с термоэрозией, термокарстовыми процессами и распадом ледово-каменных массивов на отдельные блоки. Вероятно, сначала достаточно быстро оформятся пути стока рек Геналдон и Кауридон через ледовое тело. В южной части тела разрушения идут быстрее из-за термоэрозии водами р. Геналдон. Участок открытого русла Геналдон будет удлиняться от п. Кармадон вниз по долине. В районе Кармадонских ворот сток, возможно, еще какое-то время будет проходить по подледным каналам.

Ниже Кармадонских ворот, вследствие таяния ледового тела, можно ожидать изменения режима р. Геналдон, увеличения ее расходов по сравнению с докатастрофическими показателями. В случае прорывов временных эпикатастрофических озер по долине будут сходиться сели и паводки, которые могут достичь с. Гизель.

5.11. Терминологическая дискуссия

Вызывает интерес необычное разнообразие мнений о том, каким термином следует называть произошедшую природную катастрофу. Приходилось встречать различные наименования, используемые разными авторами в прессе и в дискуссиях специалистов: “сход ледника” [В Северной Осетии..., 2002; Запороженко, 2003а, в], “обвал ледника” [Гритчин, 2002], “ледово-каменный сел” [Осокин, 2002б], “пульсация ледника” [Л.В. Десинов – см. [Таутиева, 2003, Дементьева, 2003]], “ледяная лавина” [Полквой, 2002], “ледниковая лавина” [Ледник Колка..., 2002]. В англоязычных популярных и научных заметках, опубликованных в первые месяцы после катастрофы главным образом в Интернете, употреблялись названия “glacier which caused avalanche” (ледник, вызвавший лавину), “collapsing glacier” (рухнувший ледник), “glacier-slip triggers floods” (ледниковый оползень, вызвавший паводок), mudslide (оползень), “avalanche” (лавины), “glacier disaster” (ледниковая катастрофа), “avalanche of ice” (ледяная лавина), “rock-ice slide” (каменно-ледовый оползень) [Cryospheric..., 2002; Rodriguez, 2002; Haeblerli et al., 2003], “rock/ice avalanche” [Kääb et al., 2003].

Интересно, что после событий 1902 года большинство авторов определяли случившееся как ледовый обвал [Поггенполь, 1905; Штебер, 1903; Обвал..., 1904]. П.В. Ковалев, В.В. Агибалова относили события 1902 г. к ледово-каменным селям [Ковалев, 1961в; Агибалова, 1983]. К.П. Рототаев и соавторы называли причиной подвижку ледника Колка, а тип движения определяли как ледовый сел, происшедший после наступания ледника и прорыва озера, образовавшегося при подвижке у края ледника Майли [Рототаев и др., 1983].

По нашему мнению, в 2002 г. произошла последовательная смена нескольких процессов, относящихся к различным видам движения и имеющих разные названия. Вначале перемещение ледово-каменной массы происходило по типу обвала ледника и горных пород коренного ложа. Затем, после начала движения массы ледника и ее разгона до значительной скорости, характер движения изменился. Многие специалисты, с которыми автор обсуждал данный вопрос, согласились с тем, что ниже языка ледника Майли поток представлял собой ледово-каменно-каменный сел, с существенным преобладанием ледовой составляющей.

Наши обследования зоны транзита ледово-водно-каменного селя вниз по руслу Геналдона, от слияния водотоков Майли и Колка до с. Тменикау, показали, что 4 октября 2002 г. прирусловая часть долины была не только свободна от сплошного льда, но и почти лишена ледяных останцов, которые появляются в заметном количестве только в нижней части зоны транзита, то есть в 8–10 км ниже конца ледника Колка в состоянии до катастрофы. Останцы льда в течение первых недель после 20 сентября были переработаны небольшими селями. В результате изменения дна долины в зоне транзита ледово-водно-каменного селя, в отличие от других участков, оказались невелики по сравнению с 2001 годом (рис. 5.10).

В зоне аккумуляции в Кармадонской котловине образовался ледовый затор, и единообразие в его наименовании также отсутствует. Термин “ледовое тело”, используемый здесь для краткости, является компромиссным вариантом, поскольку состав тела является поликомпонентным. В частности, среди специалистов нет единства мнений о том, как называть каменную составляющую ледового тела – мореной, селевыми отложениями или иначе.

После остановки основной части потока и образования ледового тела у Кармадонских ворот, поток стал напоминать грязекаменный сел. Однако имелись и значительные отличия между ним и “классическим” грязекаменным селом. При пересечении зоны Скалистого хребта поток устремился в узкую горловину. Уровень ледяных террас и заплесков сначала превышал 30 и более метров, затем довольно быстро понизился до первых метров. Ледовая составляющая присутствовала в потоке вплоть до его перехода в наносоводный паводок южнее с. Гизель. В отличие от материала большинства грязекаменных селей, отложившаяся масса длительное время отличалась высокой пластичностью и текучестью, а также гетерогенными свойствами (см. рис. 5.7). Даже через два месяца после катастрофы на участке ниже Кармадонских ворот еще продолжалось вытаивание льда из селевой массы.

Вероятно, следует выделить события, подобные Геналдонской катастрофе, в особый тип природных явлений – необычайно мощные катастрофические ледово-каменно-каменные сели. В Гляциологическом словаре приведено сходное понятие “ледо-каменный поток” – один из видов селевых потоков, в селевой массе которых твердая составляющая представлена обломками льда с участием снега и обломков горных пород [Гляциологический..., 1984; статья написана В.Ф. Перовым].

В словаре В.Ф. Перова приведен термин “ультраселевые потоки” – одна из групп селевых и селеподобных потоков Земли, характеризующихся грандиозным масштабом процесса. Упомянуты различные типы ультраселевых потоков – Яванский, Каскадный, Ключевской, Казбекский, Уаскаранский. Казбекский тип потоков, по В.Ф. Перову, образуется вследствие срыва фирново-ледовых масс, насыщенных водой; Уаскаранский – вследствие обвала ледника и последовательной трансформации его в снежно-каменную лавину и грязевой поток [Перов, 1996]. С.Г. Эванс и соавторы пишут о событиях в Перу как об особом “Уаскаранском типе каменных лавин” [Evans et al., 1989].

Представляется, что между наиболее крупными Казбекскими завалами 1776 и 1832 гг., событиями на склонах г. Уаскаран в 1962 и 1970 гг. и Геналдонскими катастрофами 1902 и 2002 гг. имеется много общего, и все они должны быть отнесены к одному и тому же виду природных явлений. Возможно, для его обозначения был бы применим термин “ледово-водно-каменные сели Уаскаранско-Казбекского типа”.

Подобные явления включают последовательную смену таких событий, как: обвал ледника и вовлечение в поток значительной ледовой и каменной массы, ледово-водно-каменный сель с преобладанием льда, грязекаменный сель с существенным содержанием льда в селевой массе. Морфология ледово-каменных заплесков на склонах долины говорит о том, что движение часто происходило вдоль склона с набором, а не уменьшением высоты. Так, в 1970 г. в районе горы Уаскаран был разрушен г. Юнгай, который ранее представлялся закрытым от возможного катастрофического потока высоким водоразделом. Аналогично, в долине р. Геналдон происходило движение, сопровождавшееся переброской ледово-водно-каменной массы с одного борта долины на другой и набором высоты заплесков на отдельных участках до 50 м (рис. 5.11). Характерными особенностями ледово-водно-каменных селей данного типа являются также чрезвычайно большие объемы вовлеченного материала, очень высокие скорости, внезапность и кратковременность, незначительная эродирующая способность, существенное преобладание льда в селевой массе, а также большое расстояние, пройденное потоком.

Детальное изучение подобных явлений – дело будущего. Катастрофические события происходят достаточно редко, измерения и запись событий обычно отсутствуют, и натурные данные по ним были и будут недостаточными. Для анализа механизма их движения не обойтись без физического моделирования.

Выводы

На основании исследований, проведенных автором совместно с коллегами, восстановлен ход событий гляциальной катастрофы 20 сентября 2002 г. в долине р. Геналдон (Северная Осетия), повлекшей жертвы и разрушения. По результа-

там полевых работ 2001 и 2002 гг. выделены 4 основных этапа катастрофы: 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, грязекаменный сель.

Совместно с группой соавторов составлена карта зоны Геналдонской катастрофы. Выявлены морфометрические характеристики изменений рельефа на пути движения. Рассчитан объем аккумуляции льда, составивший около 115 млн. м³. Оценены возможные темпы деградации ледового тела в ближайшем будущем.

Проведен анализ эпикастрофического лимногенеза, измерены площади и оценена динамика 13 временных озер, образовавшихся после катастрофы. Составлена карта изменений наиболее крупного подпрудного озера, затопившего с. Старая Саниба, в течение первого месяца после его образования. Дан предварительный прогноз развития озер.

Рассмотрены гипотезы причин катастрофы, данные о механизмах и скоростях движения. Выявлено разнообразие точек зрения на природу явления и термины, которыми его описывают различные исследователи. Предложено рассматривать ледово-водно-каменный поток как селевое явление особого Уаскаранско-Казбекского типа, обладающее не характерными для других типов селей специфическими особенностями.

В долине р. Геналдон в ближайшее время необходимо провести комплексные исследования, направленные на всестороннее изучение процессов, происходящих на ледовом теле, новообразованных озерах, в цирке ледника Колка и на стене г. Джимарай-хох. Потребуется детальный гляцио-геоморфологический, гидрологический и фотограмметрический мониторинг. Следует также разработать систему мероприятий, включающую прогноз и оповещение людей, находящихся в долине, чтобы в случае возникновения опасности обойтись без жертв.

Геналдонская гляциальная катастрофа 2002 года относится к событиям мирового значения. Долина р. Геналдон является бассейном, равного которому по объемам единовременно перемещенного экзогенными процессами вещества в российской части Кавказа не существует. Будущие исследования могли бы помочь избежать новых трагедий в горах.

Глава 6

СЕЛЕВЫЕ ОЧАГИ С ПРИЗНАКАМИ ПРЕДКАТАСТРОФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ

Предсказать место будущей селевой катастрофы удастся 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. Хотя предкатастрофическая подготовка селевых очагов наблюдалась лишь эпизодически, а сведения о ее динамике отрывочны и неполны, важно найти пример объекта, где признаки предкатастрофической подготовки удастся проследить. Один из потенциально опасных очагов, где можно констатировать признаки предкатастрофической подготовки, находится в верховьях долины Адыл-Су. Это новые озера, недавно появившиеся у края ледника Башкара.

Верховья долины Адыл-Су показаны на рисунках 6.1, 6.2.

Ледниковые озера в долине Адыл-Су изучаются с середины XX века. В конце 1930-х гг. произошло формирование озера в массиве мертвого льда отделившейся правой ветви ледника Башкара. Озеро, одноименное с ледником, находится справа от ледникового потока и подпружено им (рис. 6.3). Зафиксированы прорывы озера Башкара в 1958, 1959 и 1960 годах, приводившие к образованию селей.

В 1980-е гг. у нижнего края языка ледника Башкара появились объекты, ранее не существовавшие: при отступании ледника образовалась группа новых моренных озер. Происходит их активное разрастание, с каждым годом увеличивается площадь зеркала и объем. Однако озера пока отсутствуют на картах, об их наличии и возможности прорыва до недавнего времени не было известно людям, находящимся в зоне опасности, и лицам, принимающим решения о селезащитных мероприятиях. Озера описаны Ю.В. Ефремовым и Ю.Г. Ильичевым [1998], упомянуты И.Б. Сейновой [Сейнова, Золотарев, 2001] и схематически показаны на карте-схеме А.М. Алейниковой [2001]. Детальный анализ характеристик озер до

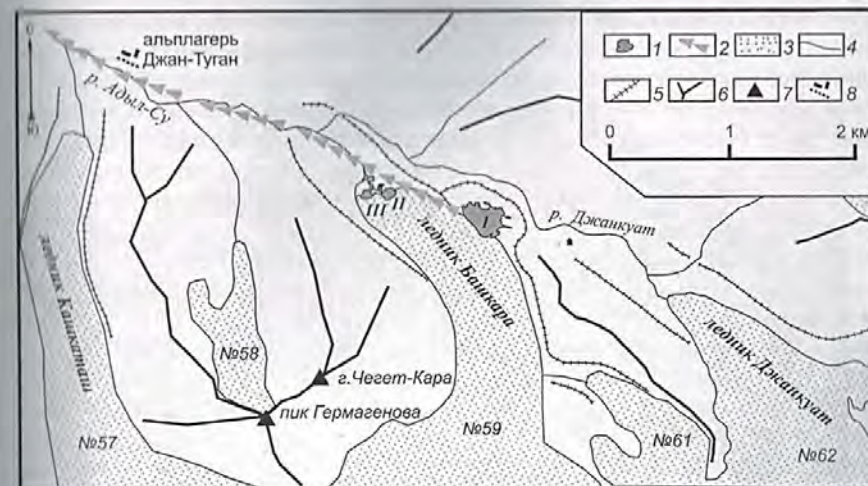


Рис. 6.1. Верхняя часть долины Адыл-Су [Черноморец и др., 2003б]

1 – озера; 2 – примерный путь прорывных селей 1958–1959 гг.; 3 – ледники (номера по [Каталог ледников..., 1970]); 4 – водотоки; 5 – гребни моренных валов; 6 – горные хребты; 7 – вершины; 8 – строения. I – оз. Башкара, II – оз. Лапа, III – оз. Мизинчик



Рис. 6.2. Ледники и озера в верховьях долины р. Адыл-Су. 29 августа 2002 г.

I – оз. Башкара, II – оз. Лапа, III – оз. Мизинчик



Рис. 6.3. Озеро Башкара, подпруженное ледником. 7 августа 2002 г.
Цифровой снимок О.В. Тутубалиной

последнего времени не проводился, не выделялись они и в самостоятельную группу, заслуживающую пристального внимания. Основными задачами проведенных нами работ были исследование состояния новых гляциальных озер, их морфометрических параметров, выявление динамики изменений и оценка степени потенциальной селевой опасности.

6.1. Район исследований

Ледник Башкара находится в бассейне р. Адыл-Су – правого притока р. Баксан. Площадь водосбора р. Адыл-Су – 98,7 км², длина реки – 12,8 км. Река Адыл-Су дренирует депрессию между Главным Кавказским и Боковым хребтами. С юга ледниковый бассейн Башкара окаймлен цепочкой вершин-четырёхтысячников Главного хребта: Уллу-Кара, Башкара и Джан-Туган. Западная граница ледникового бассейна Башкара проходит по отрогу Главного Кавказского хребта

с вершинами пик Гермагенова и Четет-Кара. С севера водоразделом служит гребень морены ледника Башкара.

Коренные породы бассейна представлены преимущественно палеозойскими гранитами и гранодиоритами, в меньшей степени гнейсами. На Геоморфологической карте Кабардино-Балкарии масштаба 1:1000000, составленной А.А. Лукашовым, территория отнесена к альпинотипному рельефу сводово-глыбовых хребтов с горно-долинным оледенением и реликтами сетчатого оледенения [Атлас..., 1997].

В формировании рельефа долины значительную роль играет оледенение. Ледники находятся на склонах Главного Кавказского хребта северной и северо-западной экспозиции. Долинный ледник Башкара обозначен в Каталоге ледников СССР под №59 [Каталог ледников..., 1970]. Согласно Каталогу, длина ледника 4,3 км, площадь 2,9 км². Два небольших ледника, входящие в площадь ледосбора – висячий №60 и висяче-каровый №61 – имеют соответственно длины 0,9 и 1,3 км, площади 0,2 и 0,3 км² [Сейнова, 1997]. В плейстоцене ледники Башкара, №60 и 61 были частью единого глетчера Адыл, который в эпоху максимального развития оледенения входил в состав крупного Баксанского ледника [Сейнова, Золотарев, 2001]. Ледник Башкара спускается с крутой стены Главного Кавказского хребта в северном направлении в относительно широкую долину, почти полностью перегораживая ее и отклоняется к западу. Между правобережной мореной ледника Башкара и орографически правым бортом долины – склоном Бокового хребта – протекает р. Джанкуат. Примерно в 0,6 км ниже фронта ледника Башкара водоток, берущий начало от ледника, сливается с р. Джанкуат. От места слияния река называется Адыл-Су.

6.2. Возникновение и история группы озер у ледника Башкара

Озеро Башкара возникло, видимо, в конце 1930-х или в 1940-е гг. В начале 1930-х гг. на леднике Башкара проводились исследования по программе Международного Полярного года (В.К. Альтберг, Е.Н. Лукашова, Е.И. Орешникова, В.А. Попов, В.Е. Сочеванов, Я.И. Фролов и др.). По данным экспедиции Государственного гидрологического института, в 1932–33 гг. на месте озера был ледник. На карте ледника, приводимой в статье Е.И. Орешниковой [1936], и на фотографиях В.К. Альтберга [Альтберг, 1936; Орешникова, 1936], озеро отсутствует.

С конца 1950-х гг. на леднике Башкара проводились исследования Кавказской экспедицией Харьковского университета по программе Международного геофизического года. Озеро Башкара к тому времени уже существовало. Размеры оз. Башкара в 1958–1959 гг. были меньше, чем сейчас. На фотографиях П.В. Ко-

валев [19616] видно, что в конце 1950-х гг. уровень озера был гипсометрически выше современного. Дно озера, вероятно, было в то время сложено льдом. Последующие образования озера зафиксированы прорывы в августе 1958 г. и летом 1959 г. [Ковалев, 19616]. И.Б. Сейнова приводит следующие даты прорыва: 8 августа 1958 г., 5 августа 1959 г. и в октябре 1960 г. [Сейнова, 1997].

В качестве причин прорывного селя 1958 г. П.В. Ковалев называет такие процессы, как растворение и размыв ледяной подпруды [Ковалев, 1961а] и прорыв гряда в теле ледника ниже уровня воды в озере [Ковалев, 19616]. После селя уровень оз. Башкара упал примерно на 2 м. На пути селевого потока, у правого края языка ледника Башкара, до прорыва 1958 г. существовало второе небольшое озеро. Фотографии второго озера, сделанные П. Долот и И. Черваневым, приведены П.В. Ковалевым [19616]. В ходе прорыва оно было спущено. На схеме Г.П. Дубинского и И.П. Снегур [1961], отображающей, видимо, состояние после прорыва 1958 г., второе озеро отсутствует. По оценке И.Б. Сейновой, объем первоначального водного импульса, образовавшегося в 1958 г. при прорыве в результате спуска двух озер и внутриледникового стока, составлял около 60 тыс. м³. И.Б. Сейнова оценивает объем селевых отложений 1958–1959 гг. примерно в 2 млн. м³, причем в связи с невозможностью их разделения считает, что для расчетов можно считать объем каждого из них равным примерно 1 млн. м³ [Сейнова, 1997]. Режим озера Башкара после 1960 г. был относительно стабильным. Происходило увеличение поверхности озера, но моренно-ледовая плотина удерживала его воды от прорыва. До образования озера Башкара сели также периодически сходили от края ледника. По лихенометрическим исследованиям И.Б. Сейновой [1997], у фронта ледника имеются следы селей X века, 1910 г., 1930–1940 гг.

Что касается новых озер, то они появились в 1980-е гг. недалеко от местоположения озера, спущенного в 1958 году.

6.3. Принятые топонимические обозначения

Большинство географических названий высокогорной части Приэльбрусья можно разделить на две группы: официальные (имеющиеся на государственной топографической карте) и так называемые туристские. В первую группу входят, как правило, балкарские названия. Вторая группа насчитывает большее количество наименований, чем первая. Она включает топонимы, присутствующие в описаниях походов и восхождений, нанесенные на кроки. В последние годы изданы карты, на которых, наряду с официально утвержденными названиями, присутствуют выделенные специальным цветом туристские, а точнее, неофициальные названия, применяемые альпинистами, туристами, исследователями и местными жителями.

Исторически большое озеро справа от ледника Башкара обозначалось одним именем с ледником. Добавление "Кёль" (озеро), характерное для балкарских названий, к озеру Башкара не применялось. Новые же озера пока не отмечены на картах и не имеют общепринятых названий. При получении информации о существовании новых озер и их потенциально опасном характере у многих людей складывается впечатление, что речь идет об озере Башкара. Между тем, размер и динамика озер, их близость к тропам и туристическим стоянкам свидетельствуют о том, что точное знание их местоположения важно для безопасности посетителей долины. Поэтому было бы желательно, чтобы озера имели соответственные названия, что может способствовать восприятию самостоятельного значения каждого из них. Начиная с 1999 г., специалисты нашего отряда используют для обозначения новых озер рабочие названия Лапа (восточное) и Мизинчик (западное) [Черноморец и др., 2003а]. Названия отражают форму озер в 1999 г. Озеро Лапа состоит из двух частей – основной котловины и залива, соединенных коротким проливом. Сезонное озеро к северу от оз. Лапа и Мизинчик обозначается как оз. Зандровое.

6.4. Методика исследований

6.4.1. Анализ аэрофотоснимков и космических материалов

Для анализа использовались аэрофотоснимки 1965 и 1990 гг., космические снимки 1971, 1999 и 2001 г. Многозональный аэрофотоснимок августа 1965 г. с разрешением около 1 м получен в Лаборатории аэрокосмических методов географического факультета МГУ. Космические фотоснимки CORONA от 20.09.1971 г. с разрешением около 2 м получены из архивов Геологической Съемки США.

В 1990 г. в рамках работ Лаборатории аэрокосмических методов изысканий Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС), одновременно с наземными исследованиями, была выполнена многозональная (камерой МСК-4) и панхроматическая аэрофотосъемка (23.08.1990 г.). Предварительная маршрутизация полетов выполнялась автором с учетом расположения участков наиболее опасных процессов. Съемку с борта самолета-лаборатории Ан-30 проводил В.П. Олохтонов. Многозональные снимки высокого разрешения (около 0,5 м) были получены в 4 зонах спектра, после чего был проведен синтез трех зон в искусственных цветах.

Космический снимок Landsat 7 ETM+ от 09.08.1999 г. (8 спектральных зон, разрешение 15–60 м) получен О.В. Тутубалиной в Геологической Съемке США при помощи некоммерческого партнерства "Прозрачный мир". Космический снимок Terra ASTER от 15.09.2001 г. получен через систему EOS Data Gateway.

6.4.2. Полевые работы и картографирование озер

Для исследования и картографирования характеристик и динамики озер были проведены маршрутные исследования, измерения глубин, тахеометрические съемки береговой линии, повторные фотосъемки, съемка фототеодолитом и цифровой камерой.

Первые наши наблюдения, в которых зафиксировано появление новых озер, относятся к 1990 г. Исследования осуществлялись для изучения состояния высокогорья и выбора ключевых участков наблюдений за экзогенными процессами по заданию Кабардино-Балкарской геологоразведочной экспедиции объединения "Севкавгеология".

В 1996 г. проводились маршрутные наблюдения для определения изменений береговой линии оз. Башкара по сравнению с 1990 г. Была намечена предварительная программа исследований, включающая наблюдения за уровнем оз. Башкара и новых озер в предполье ледника, изучение потенциальных каналов прорыва озера, повторные съемки, составление карты динамики озер, лихенометрические исследования.

Начиная с июля 1996 г., проводилось дешифрирование динамики озер и моренного комплекса по сравнению с положением на август 1990 г. Контрольные обследования озер проводились в 1998, 1999, 2000 и 2001 годах. С точек, маркированных на местности, велось повторное фотографирование. На гребне правобережной морены ледника Башкара, в 100–150 м к востоку от оз. Лапа, на коренном склоне по левому борту долины Адыл-Су и на берегу оз. Лапа, в 2001 г. были маркированы точки геодезических измерений, базисы фототеодолитной и цифровой съемки (ФТ21 А,Б,В). Второй базис (ФТ22 А,Б) закреплен для цифровой съемки на левом борту долины Адыл-Су в августе 2002 г. Цифровая стереосъемка озер Лапа и Мизинчик осуществлена 14.07.2001 г. (О.В. Тутубалина, камера Kodak DC 210), 30.08.2001 г. (Е.А. Золотарев и С.Г. Нечелюстов, камера Nikon Coolpix 950), 27.08.2002 г. с базиса 21 и 25.08.2002 г. с базиса 22 (О.В. Тутубалина, камера Minolta DiMAGE S404).

Для изучения глубины озер и оценки объема воды с надувной лодки проводились промеры лотом-линем (рис. 6.4): на оз. Лапа 23.07.2000 и 31.08.2000, на оз. Мизинчик 23.07.2000 г. и 31.07.2001 г., на оз. Башкара 20–22.07.2001 г. В 2002 г. измерение проводилось И.В. и И.Н. Крыленко с помощью эхолота "Стикс" с GPS-привязкой.

В 2001 г. А.А. Алеиных тахеометром Theo 010 В провел тахеометрическую съемку береговой линии озер Лапа (14.07.2001 г.), Мизинчик (15.07.2001 г.) и Башкара (20–22.07.2001 г.). Повторная тахеометрическая съемка озер Лапа и Мизинчик проведена А.А. Алеиных 28.08.2002 г. (рис. 6.5).

Для сопоставления с материалами тахеометрической съемки в 2002 г. И.В. Крыленко, О.В. Тутубалиной, П.Г. Журавлевой проведены эксперименталь-



Рис. 6.4. Измерение глубин ледниковых озер с надувной лодки



Рис. 6.5. Тахеометрическая съемка береговой линии новых озер (фото А.А. Алеиных)

ные обходы береговой линии озер двумя способами: 1) по внутреннему контуру на лодке с фиксацией положения береговой линии по показаниям GPS, и 2) по внешнему контуру (вдоль берега) с использованием комплекта GPS Garmin 12 и карманного микрокомпьютера Casio Cassiopeia E125. Запись точек в микрокомпьютер Cassiopeia проводилась в автоматическом режиме. Для работы был создан проект в программе ArcPad. Впоследствии данные с применением программы ActiveSync 3.5 переносились на обычный компьютер и обрабатывались в программе ArcView. Сопоставление результатов независимого построения карт по данным различных обходов показало хорошую сходимость контуров в пределах точности навигационных GPS-измерений (10 м) и возможность в будущем применять GPS для полевого картографирования.

Для изучения динамики уровня на оз. Башкара 16.08.1999 г. создан временный урочный пост № 1 в виде маркированного валуна на берегу. Аналогичный урочный пост № 2 создан 23.07.2000 г. на оз. Лапа. Валуны размечены масляной краской через каждые 10 см. Поскольку непосредственно под оз. Лапа, скорее всего, остается мертвый лед, урочный пост № 2 может использоваться только до обнаружения признаков смещения.

Взаимосвязь между суточным ходом уровня всех озер, а также температурой воздуха на сезонном метеопосту Джанкуат, была проверена 30 июля 2002 г. с помощью суточных синхронных измерений по урочным рейкам.

Результаты исследований опубликованы [Черноморец и др., 2002, 2003б; Черноморец, 2003а]. Примененные методы позволили выявить количественные характеристики динамики селеопасных озер.

6.5. Динамика озер

6.5.1. Изменения береговой линии при отступании ледника

Анализ аэрофотоснимков 1965 и 1990 гг., а также космических снимков 1971 и 2001 гг. показывает, что за последние 37 лет размер озера Башкара (в широтном направлении) увеличился почти вдвое, с 180 до 320 м. Что касается новых озер, то в 1990 г. маршрутными наблюдениями у фронта ледника фиксировались несколько небольших озеровидных образований. На аэрофотоснимках 1990 г. новые озера почти не видны (рис. 6.6). К 1998 году новые озера заметно увеличились по сравнению с началом 1990-х гг. На фотографиях от 24 августа 1998 г. (рис. 6.7а) видно, что обозначились как самостоятельные объекты озера Лапа и Мизинчик, а также ряд мелких заливов. В котловинах озер имелись значительные скопления морены, покрывающей отделившиеся от ледника массивы льда. Фронт ледника, особенно в его правой части, имел признаки отступления.



Рис. 6.6. Контурные озера у ледника Башкара в 1990 и 2001 гг. [Черноморец и др., 2003 б]
а – аэрофотоснимок МСК-4 от 23.08.1990 г. (ближняя инфракрасная зона), пространственное разрешение около 1 м; б – космический снимок ASTER от 15.09.2001 г. (ближняя инфракрасная зона), пространственное разрешение 15 м. I – оз. Башкара, II – оз. Лапа, III – оз. Мизинчик

В августе 1999 г. отмечалось дальнейшее разрастание озер, особенно оз. Лапа. На перемычке оз. Мизинчик обнажилась ледяная стенка высотой 6–7 м, крутизной около 45°, насыщенная обломочным материалом. В дневные часы наблюдалось осыпание обломков по поверхности стенки, связанное с вытравливанием льда. В динамике оз. Башкара существенных изменений не отмечалось.

В июле–августе 2000 г. произошло обрушение грота на оз. Лапа. На северном берегу оз. Мизинчик происходило разрушение массива мертвого льда, слагающего плотину озера (рис. 6.7б). Массив отступил на несколько метров. В обрыве мертвого льда образовалась ниша высотой около 1 м, глубиной 1,5–2,0 м. В западной части оз. Мизинчик произошел спуск воды из термокарстовой полости размером 3–5 м, располагавшейся в июле над поверхностью озера на высоте около 15 м. В этом месте произошли обрушения льда с образованием мелких айсбергов. Пространство к северо-востоку от оз. Мизинчик, которое ранее было сложено льдом, покрытым мореной, заполнилось водой.

С августа 2000 г. до 23 июля 2001 г. конфигурация озер заметно изменилась (рис. 6.7в). На оз. Лапа исчез остров в районе грота. Уменьшилась крутизна обрыва плотины в части, обращенной к озеру Мизинчик. Внутренний склон плотины за год отступил на 20–30 м. Произошел перехват части водного стока ледника Башкара: река, вытекавшая из-под левого края ледника Башкара и проходившая вдоль левобережной морены ледника в обход озер, в нижней части значительно обмелела, и образовался новый подледный канал. Канал включал ряд мелких каверн и соединял исток реки с западной частью оз. Мизинчик. Таким образом,

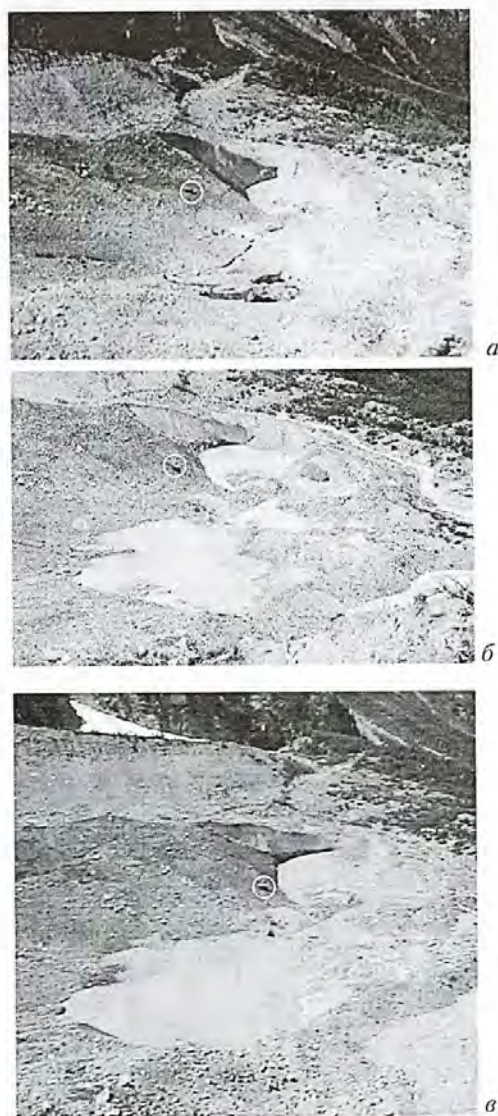


Рис. 6.7. Динамика новых озер у края ледника Башкара в 1998–2001 гг.
 а – 24 августа 1998 г.; б – 23 июля 2000 г.; в – 14 июля 2001 г. (фото О.В. Тутубалиной). Белым кружком обозначена глыба, по положению которой видно отступление фронта ледника

значительно увеличилась доля стока ледника Башкара, проходящая через озеро Мизинчик и моренно-ледовую плотину. Поток воды из озера через перемычку увеличился в несколько раз.

В конце лета 2001 г. озеро Лапа состояло из двух частей – основной котловины и залива. Основная котловина эллипсовидной формы примыкала к леднику и имела размер около 90 м по оси, параллельной линии фронта ледника, и около 120 м в перпендикулярном направлении. Ледник относительно полого примыкал к озеру, размеры грота в 2001 г. были невелики. Залив, отделенный от основной котловины озера проливом шириной около 5 м, находился в отчленившемся от ледника массиве мертвых льдов и имел сложную форму береговой линии, обусловленную неравномерностью термокарстовых процессов.

Озеро Мизинчик в августе 2001 г. имело максимальный размер до 130 м. По оси, перпендикулярной фронту ледника, ширина озера достигала 70 м. Уступ ледника, примыкающий к оз. Мизинчик, имел высоту до 30 м и крутизну 35–40°, за исключением грота в нижней части высотой 10–12 м, имевшего практически отвесный уступ. После слияния поток из озер Лапа и Мизинчик достигал ширины 25 м. Высота ступени моренно-ледовой плотины летом 2001 г. составляла 9–10 м. При пересечении плотины поток образовывал водопад.

Максимальная глубина Зандрового озера составляла 1,2 м. В период уменьшения абляции ледника Зандровое озеро мелеет, значительно уменьшается в размерах и меняет очертания.

В 2002 г. освобождение озер от льда произошло в конце мая – начале июня (рис. 6.8а). К августу 2002 г. резко изменилось соотношение площадей озер Лапа и Мизинчик по сравнению с 2001 г. (рис. 6.8б). Озеро Лапа за год заметно увеличилось в размерах, следуя за фронтом отступающей ветви ледника. Форма его основной котловины становилась все более изометричной. Площадь озера Мизинчик, напротив, сократилась.

Появился ряд новых объектов, не зафиксированных наблюдениями предыдущих лет. На месте бывшего канала прорыва 1958–1959 гг., под правобережной мореной ледника Башкара, образовалось небольшое новое озеро размером около 15 м (рис. 6.9а). На склоне морены над озером прослеживаются два старых вала, возможно, относящихся к прорывам 1958–1959 гг.

На месте подледного канала, образование которого отмечалось в 2001 г. юго-западнее оз. Мизинчик, сформировался поверхностный канал глубиной до 15 м, длиной до 150 м. В начале августа 2002 г. канал имел почти вертикальные борта (рис. 6.9б). К концу августа часть бортов обрушилась. Подледный участок канала остался на последних 50 м перед впадением в оз. Мизинчик.

Периодическая закупорка канала, возникающая при обрушениях глыб льда, приводит к накоплению водных масс и возникновению микроселей, сбрасывающих массу в оз. Мизинчик. За счет этого в озере образовался внутренний конус выноса, что привело к заполнению части озерной котловины. Тонкие фракции



а

б

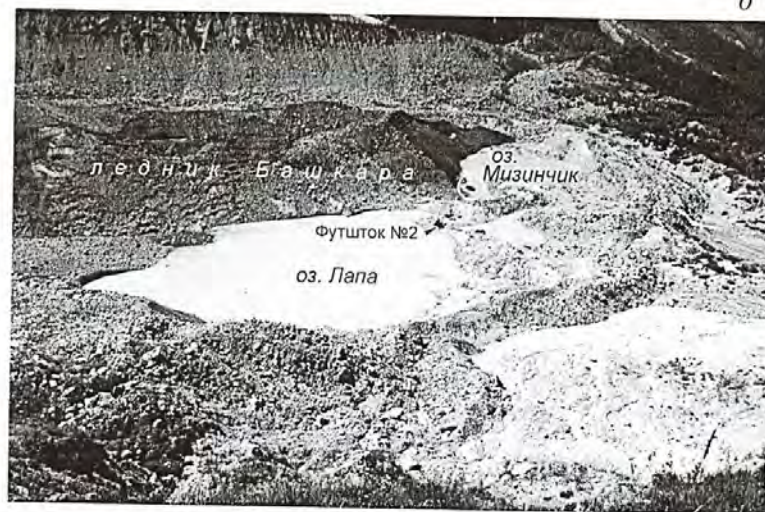


Рис. 6.8. Динамика новых озер у края ледника Башкара в 2002 г.
а – 1 июня 2002 г. (фото Е.В. Исенко); б – 25 августа 2002 г.

при микроселях образуют мутьевые потоки (рис. 6.10) и отлагаются на дне в центральной части озера.

Наметилась тенденция слияния двух озер в одно. Возможно, через один-два года уровень пост оз. Лапа окажется на острове, а вместо двух озерных котловин останется единый водный объект.



а



б

Рис. 6.9. Объекты на леднике Башкара, впервые зафиксированные в 2002 г.
а – озеро диаметром около 15 м на поверхности ледника под правобережной мореной; б – канал в левой части языка, образовавшийся на месте подледного тоннеля. Глубина канала около 12–15 м, длина 150 м. 9 августа 2002 г.



Рис. 6.10. Мутьевые потоки при сходе микроселя из подледной части канала в озеро Мизинчик. Край ледника Башкара, 7 августа 2002 г.

6.5.2. Колебания уровня

Замеры показали, что уровень озера Лапа в течение июля–августа меняется незначительно, в пределах 40 см (табл. 6.1). По холодному периоду года информация пока отсутствует. По-видимому, в летний период таяния уровень озера Лапа регулируется перетоком воды через моренно-ледовую плотину.

Изменения уровня оз. Лапа (в см от нуля уровенного поста № 2)

Дата	Уровень	Дата	Уровень
23.07.2000	-151	03.08.2002	-171
11.08.2000	-160	31.08.2002	-185,5
13.07.2001	-159	07.08.2002	-185
30.08.2001	-176	17.08.2002	-190
01.06.2002	-184	25.08.2002	-179
27.07.2002	-165	27.08.2002	-179
30.07.2002	-171	28.08.2002	-183
02.08.2002	-172	13.09.2002	-185

Таблица 6.1

В отличие от озера Лапа, озеро Башкара находится в замкнутой котловине и испытывает заметные сезонные колебания уровня. К концу августа, когда таяние ледника уменьшается, уровень падает не менее чем на 50 см по сравнению с серединой июля. К середине сентября падение уровня достигает 1,2–1,3 м. Видимо, в холодный период года уровень опускается еще ниже. В то же время, в период максимального таяния (июль) значения уровня в 1999, 2000 и 2001 гг. отличались друг от друга не более чем на 0,1 м (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Изменения уровня оз. Башкара (в см от нуля уровенного поста № 1)

Дата	Уровень	Дата	Уровень
16.08.1999	-66	03.09.2001	-107
22.09.1999	-205	09.08.2002	-48
20.07.2000	-26	16.08.2002	-58
23.07.2000	-23	01.06.2002	-136
31.07.2000	-32	27.07.2002	-15
16.08.2000	-69	30.07.2002	-17
09.09.2000	-225	02.08.2002	-22
15.07.2001	-23	03.08.2002	-22
20.07.2001	-24	09.08.2002	-48
22.07.2001	-25	16.08.2002	-58
29.08.2001	-75	13.09.2002	-99

Абсолютные отметки уреза озер, по нашим данным, составляли 2499 м на оз. Лапа (13.07.2001 г.), и 2588 м на оз. Башкара (20–22.07.2001 г.). Урез оз. Мизинчик находился в среднем на 0,2–0,3 м выше уреза оз. Лапа.

6.5.3. Карта береговой линии и изменения глубин

По результатам тахеометрической съемки и измерений глубин, летом 2001 г. была составлена схематическая карта новых озер (рис. 6.11). Точность измерений тахеометрической съемки составляла 0,1–0,2 м. Среднее расстояние между пикетными точками 10–20 м, поэтому мелкие детали береговой линии учтены на карте лишь частично. На карту нанесены также результаты промера глубин в июле–августе 2000 г. Точность измерения глубин около 0,2–0,5 м. Положение точек промера показано схематически. Граница ледника Башкара, область распространения мертвого льда, гребни моренно-ледовых валов и положение нового подледного канала нанесены по данным полевых наблюдений и фотосъемок.

Максимальные значения глубины озер по данным промеров, оценочные значения средней глубины, площадь озер по данным тахеометрической съемки приведены в таблице 6.3.

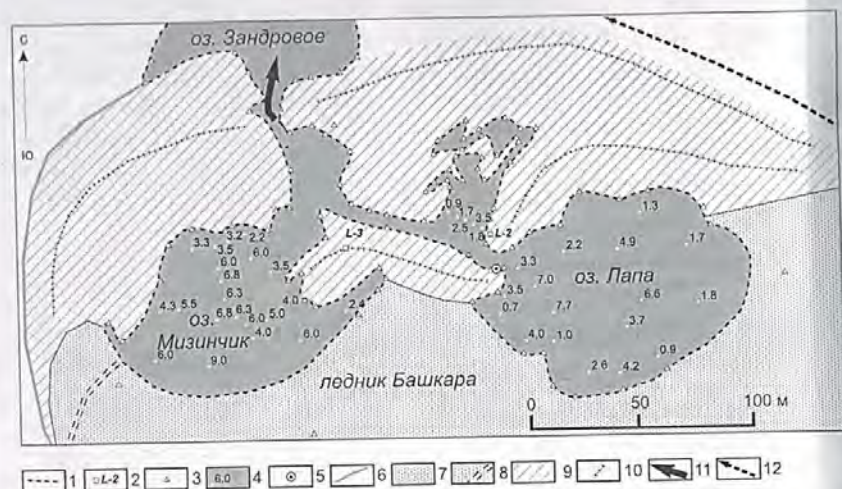


Рис. 6.11. Новые селеопасные озера у края ледника Башкара – очаг на стадии предкатастрофической подготовки

Составлено по данным тахеометрической съемки, измерений глубин и маршрутных исследований, по состоянию на август 2001 г. Авторы: А.А. Алейников, О.В. Тутубалина, С.С. Черноморец [Черноморец и др., 2003б] (с изменениями).

1 – береговая линия в 2001 г.; 2 – станции тахеометрической съемки; 3 – пикетные точки; 4 – глубины в метрах; 5 – временный уровень пост №2; 6 – водотоки; 7 – ледники; 8 – новый подледный канал, образовавшийся в период с августа 2000 г. по июль 2001 г.; 9 – область распространения мертвых льдов; 10 – гребни моренно-ледовых валов; 11 – примерный путь прорывных селей от озера Башкара в 1958–1960 гг.; 12 – возможный путь селя при прорыве новых озер

Таблица 6.3

Площади, глубины и объемы воды в озерах в июле–августе 2000 г.

Озеро	Площадь по данным съемки, тыс. м ²	Количество точек промера глубины	Средняя глубина (оценка), м	Наибольшее значение глубины по точкам промера, м	Оценка объема, тыс. м ³
Лапа	9,5	22	3,2	7,7	30
Мизинчик	6,0	21	5,1	9,0	31
Зандровое	–	9	0,4–0,5	1,2	–
Башкара	63,9	5	15–20	30,7	900–1300

За среднюю глубину озера Мизинчик было принято среднее арифметическое значение по 21 промеру. Для озера Лапа сначала были отдельно рассчитаны площадь и средняя глубина по двум его частям – основной котловине и заливу. Затем

получены показатели площади и средней глубины всего озера, с учетом размера его частей. Значения объема рассчитаны путем умножения площади озера на среднюю глубину.

Таким образом, объемы воды в оз. Лапа по материалам 2000 г. можно было оценить в 30 тыс. м³, оз. Мизинчик – в 31 тыс. м³. В 2001 г. на оз. Мизинчик были проведены контрольные промеры в 5 точках, по которым прослеживалась тенденция небольшого увеличения глубины озера. В связи с значительными сезонными колебаниями площади Зандрового озера его объем не оценивался.

Измерения глубин оз. Башкара в июле 2000 г. по 5 точкам показали результаты 19,7; 30,7; 17,3; 26,5 и 22,2 м. Полученные данные близки к с оценке максимальной глубины озера в 36 м, приводимой И.Б. Сейновой [1997] по неопубликованным данным В.С. Фрейдлина. Хотя для корректной оценки среднего значения глубины требовалось увеличение количества точек измерений, представлялось важным оценить объем воды в озере хотя бы приблизительно. Исходя из предположения, что среднее значение глубины находится в пределах 15–20 м, объем воды в оз. Башкара оценивался в 0,9–1,3 млн. м³. Предварительные расчеты приведены нами в публикации [Черноморец и др., 2002].

Данные измерений 2002 г., полученные с применением эхолота и сделанные с привязкой точек по GPS, отличались существенным увеличением количества измерений. По этим результатам, максимальная глубина оз. Лапа составила 14 м, оз. Мизинчик – 6,9 м, оз. Башкара – 33,5 м. Объемы воды в 2002 г. оцениваются соответственно в 53,7, 11,9 и 780 тыс. м³ (табл. 6.4). Механически сравнивать данные 2000 и 2002 гг. не вполне корректно, поскольку они отличаются по методике исследований и количеству замеров. Неизвестно, какая доля изменений является следствием тенденции, а какая обусловлена различиями условий измерения. Можно констатировать, что глубина оз. Лапа в последние годы растет, так же как и объем воды в нем. Глубина оз. Мизинчик в 2002 г. заметно уменьшилась в связи с привносом и аккумуляцией обломочного материала в западной части озера. В целом, расчеты 2002 г. являются, по-видимому, более точными.

После завершения обработки результатов цифровой стереосъемки и фототеодолитной съемки станет возможным составление гипсометрической карты фронта ледника Башкара и моренного комплекса в окрестностях озер.

Таблица 6.4

Площади, глубины и объемы воды в озерах в августе 2002 г.

Озеро	Площадь по данным съемки, тыс. м ²	Количество точек промера глубины	Средняя глубина (оценка), м	Наибольшее значение глубины по точкам промера, м	Оценка объема, тыс. м ³
Лапа	12,6	118	4,3	14,0	53,7
Мизинчик	3,8	33	4,1	6,9	11,9
Башкара	57,4	249	12,6	33,5	780

6.6. Опасность прорыва озер и формирования катастрофического селя

Площадь новых озер в настоящее время вполне сопоставима с площадью зеркала оз. Башкара перед прорывом в 1958 г. Интенсивная деградация массивов мертвого льда, слагающего дно и берега озер, может в ближайшие годы привести к прорыву озерных вод. Объем воды в новых озерах, даже в случае неполного их опорожнения, может оказаться достаточным для начального импульса катастрофического селевого потока. В случае прорыва новых озер и нарушения равновесия в теле ледника не исключена также дополнительная подпитка селя частью вод оз. Башкара через подледный канал стока.

Один из возможных механизмов прорыва иллюстрирует ситуация, наблюдавшаяся нами на оз. Мизинчик 15.07.2001 г. Над средней частью грота ледника произошло обрушение ледяного блока с высоты около 30 м, с образованием мощной волны на поверхности озера и многократным увеличением расхода воды, переливавшейся через плотину. В будущем, в случае падения более крупной глыбы в озеро или сейсмического толчка, энергия волны может оказаться достаточной для разрушения плотины и одновременного спуска значительного объема озерных вод. В этом случае плотина может послужить источником части твердого материала. Затем поток вовлечет воды Зандрового озера и песчано-глинистые отложения зандра. Следующим источником подпитки будут конечные и береговые морены ниже зандра и верхняя часть поля аккумуляции селей 1958–1959 гг. В результате по реке Адыл-Су может сойти разрушительный селъ большой или средней мощности. Под угрозой находятся туристические стоянки, сезонный пост пограничной службы, строения альплагерей “Джан-Туган” и “Эльбрус”, а также автодорожный мост через р. Адыл-Су.

Хотя вероятен не только катастрофический, но и медленный эволюционный сценарий спуска озер в будущем, тем не менее значительная цена ошибки в прогнозах заставляет обратить на них пристальное внимание. В условиях продолжающейся деградации оледенения и роста селевой опасности появляется возможность заранее подготовиться к детальному исследованию механизма зарождения гляциальных селевых потоков прорывного генезиса. Для формирования селя по долине Адыл-Су, видимо, не потребуются участие дождевых осадков, и его возникновение будет обусловлено только воздействием ледника Башкара на озерный комплекс. Наблюдения необходимо проводить в период наибольшей опасности, который включает время с начала июля до конца августа.

В селеопасный период в долине Адыл-Су находится большое количество людей. Во избежание возможных жертв и для минимизации ущерба представляется необходимым проведение мониторинга динамики озер, изменений их уровня и состояния моренно-ледовой плотины. Целесообразно установить информационные щиты на берегах р. Адыл-Су в районе альплагеря “Джан-Туган”, где в опас-

ной зоне особенно часто останавливаются туристы. Необходимо обозначить озера на вновь издаваемых картах, чтобы информация о них была доступна лицам, находящимся в долине Адыл-Су, а также специалистам, принимающим решения по строительству и селезащитным мероприятиям.

Выводы

Изучение новых озер у края ледника Башкара позволило определить их размеры и глубины, проследить динамику береговой линии в последние годы, оценить потенциальную селевую опасность. Глубина двух новых озер в 2002 г. достигала 14,0 и 6,9 м, суммарный объем воды в них оценивался в 65,6 тыс. м³. В результате интенсивных термокарстовых процессов происходило разъедание массивов мертвого льда, слагающего дно и берега озерных котловин. В случае развития событий по катастрофическому сценарию по реке Адыл-Су может сойти селевой поток большой или средней мощности. На данный момент остается не выясненным, может ли принять участие в селевом процессе часть вод озера Башкара, имеющего, по данным наших замеров 2002 г., глубину не менее 33 м и объем около 780 тыс. м³. Под угрозой находятся туристические стоянки, строения альплагерей и автодорожный мост. В условиях продолжающейся деградации оледенения и роста селевой опасности появляется возможность заранее подготовиться к детальному исследованию механизма зарождения прорывных гляциальных селей.

Глава 7

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

7.1. Обобщенная характеристика участков

7.1.1. Сводные данные по морфолитодинамике участков селевых катастроф

Исследования охватывают участки, где со времени последней катастрофы прошло время от 3 месяцев до 62 лет. В таблице 7.1 показаны сводные данные по 5 селевым катастрофам, последствия которых изучались автором. Высшие точки бассейнов, в которых происходили катастрофы, находятся в высотном интервале 3900–4400 м. Зарождение первичного импульса происходило на высотах от 2600 до 4100 м. Материал, вовлеченный в потоки, продвинулся по долине от 2,7 до 36 км. Объем селевых потоков доходил от 1 до 6 млн. м³. Для ледово-водно-каменных селей в долине р. Геналдон в селевом движении участвовало около 130–140 млн. м³.

Рассчитаны коэффициенты мультипликативности селевой катастрофы, которые представляют собой отношение полного объема материала, вовлеченного в

катастрофический селевой поток, к объему первоначального материала, послужившего импульсом процесса. Не всегда имеется информация о начальном импульсе (например, для Джаловчатской катастрофы 1940 года мы не располагаем данными об этом). Но важно сравнить соотношение первичного импульса – прорыва озера, небольшого селя, перекрывшего реку оползня – с итоговым объемом материала. Начальный импульс для Геналдонской катастрофы (обвалившаяся часть висячего ледника) составил 3–8 млн. м³, для Герхожанской и Башкаринской катастроф он находился в пределах 10–60 тыс. м³. Коэффициент мультипликативности колеблется в пределах от 16 до 200–600.

7.1.2. Бассейн Герхожан-Су

Предкатастрофическая подготовка очагов характеризовалась отступанием ледников и образованием значительных площадей, занятых массивами мертвых льдов и льдистых грунтов. Нарушение сплошности массивов произошло при селе 1999 г. Непосредственно перед событиями 18–25 июля 2000 г. происходила длительная рекордно высокая абляция ледника Западный Каяарты, что привело к водонасыщению рыхлообломочного покрова.

В отличие от ранее проходивших селей, в 2000 г. произошло катастрофическое врезание русла и перестройка литодинамических зон. Объем выноса твердого материала оценен более чем в 3,1 млн. м³, общий объем селевой массы – примерно в 6 млн. м³. При впадении р. Герхожан-Су в р. Баксан образовалось подпрудное эпикатастрофическое озеро площадью 0,55 км², подтопившее центральную часть г. Тырнауза.

Стадия эпикатастрофической адаптации началась сразу после катастрофических селей и в течение полутора лет отличалась очень высокой интенсивностью переработки очагов. Основные процессы, происходившие в очагах на этой

Сводные данные по пяти

№	Название катастрофы	Дата катастрофы	Сколько времени прошло (до марта 2003 г.)	Абсолютная высота, м		
				высшей точки части бассейна, находящейся над очагом	точки формирования начального импульса катастрофы	точки начала катастрофического развития процесса
1	Джаловчатская	1–3. 08.1940	62 года	3929	2690	2690
2	Башкаринская	05.08.1959	43 года	4302	2605–2610	2480
3	Куллумкольская	19.07.1983	19 лет	4404	3380	3380
4	Герхожанская	18–25.07.2000	2 года и 8 мес.	4126	3465	3200
5	Геналдонская	20.09.2002	6 мес.	4400	4100	3100

участкам селевых катастроф

Таблица 7.1

Длина пути материала, вовлеченного в сель (горизонтальное проложение), км	Оценка объема перемещенного материала $W_{полн}$ млн. м ³	Оценка объема материала, послужившего начальным импульсом катастрофы $W_{нач}$ млн. м ³	Коэффициент мультипликативности $M=W_{полн}/W_{нач}$	Годы предыдущих катастроф
3,4	2–2,5	нет данных	–	нет данных
4–6	1	0,06	17	1958
2,7	1,2	нет данных	–	нет данных
15–16	6	0,01–0,03	200–600	1960, 1961, 1962, 1977, 1999
36	130–140	3–8	16–47	1835 (?), 1902

стадии – гравитационные перемещения материала с бортов нового вреза, разрушение обвалившихся масс, склоновые и русловые микросели. Интенсивные процессы эпикастрофической переработки очагов происходили в два этапа – с конца июля до начала сентября 2000 г. и с начала июля до конца августа 2001 г. Отступление бровок селевого каньона достигало 12 м на поперечных профилях и превысило 20–25 м на участках развития новых термоцирков.

Объем твердого материала, вынесенного из селевого каньона в сентябре 2000 – августе 2001 гг., составил 0,17 млн. м³, что лишь в 3,5 раза меньше объема выноса при катастрофических селях 1999 и 2000 г. и первых полутора месяцев эпикастрофической адаптации. В течение июля–августа 2001 г. зафиксировано формирование ежедневных микроселей, отличавшихся волновым характером и четко выраженным суточным ходом. Регрессивная эрозия привела к формированию нового селевого оврага, на поверхности морены произошла активизация криогенных процессов.

После разрушения массивов льдистых грунтов в днище каньона, по-видимому, можно констатировать наступление стадии межкатастрофической эволюции, что подтверждается отсутствием активной морфолитодинамики очагов в течение последующего периода. С августа 2001 г. по август 2002 г. селевой каньон р. Зап. Каяарты-Су мало изменился. Сель небольшой мощности зародился в начале июля в Нижнем ущелье Каяарты-Су, дошел до г. Тырныауза и привел к подъему отметок русла под автодорожным мостом. В будущем в пределах приледниковой зоны возможен частичный перехват стока и дальнейшая перестройка литодинамических зон селевого бассейна.

По размерам хозяйственного ущерба долина р. Герхожан-Су является самым значительным селевым объектом в Кабардино-Балкарии. На примере долины можно наблюдать катастрофические изменения в рельефе, происходящие в течение очень короткого времени, и процессы, ведущие к частичному восстановлению равновесия после катастрофы. Для исследования морфолитодинамики бассейна и локального прогноза селей было бы полезно превращение долины Герхожан-Су в опорный объект для мониторинга селевых потоков.

7.1.3. Бассейны Джаловчат и Куллумкол-Су

Данные по бассейнам, несколько десятилетий находящимся на стадии межкатастрофической эволюции, показывают следующее. В настоящее время очаги, работавшие во время катастрофы, отделены от ледников и массивов мертвого льда расстоянием в несколько сотен метров. Морфология периферии ледников не позволяет накопиться значительному количеству воды в озерных ваннах. Поперечный профиль селевого вреза, сформированного при катастрофе, вместо узкой теснины с крутизной склонов 70–100°, расширяется. Борта вреза за 19 лет выполаживаются до 40–50°, а по прошествии 62 лет – до 30–35°. В бортах врез

отсутствуют выходы погребенного льда. В днищах селевых долин на пути водотоков исчезают массивы, образовавшиеся вследствие разрушения морен при катастрофе, сложенные льдистыми грунтами и мертвыми льдами.

7.1.4. Бассейн Геналдон

На основании 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. По результатам полевых работ 2001 и 2002 гг. выделены 4 основных этапа катастрофы: 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 сель. Составлена карта зоны Геналдонской катастрофы. Выявлены морфометрические характеристики изменений рельефа на пути движения. Рассчитан объем аккумуляции льда, составивший около 115 млн. м³. Оценены возможные темпы деградации ледового тела в ближайшем будущем.

Проведен анализ эпикастрофического лимногенеза. Измерены площади и оценена динамика 13 временных озер, образовавшихся после катастрофы. Составлена карта изменений наиболее крупного подпрудного озера, затопившего с. Старая Саниба, в течение первого месяца после его образования. Дан предварительный прогноз развития озер. Рассмотрены гипотезы причин катастрофы, данные о механизмах и скоростях движения. Выявлено разнообразие точек зрения на природу явления и термины, которыми его описывают различные исследователи. Показано, что катастрофы имеют сложный механизм формирования, в котором участвуют обвалы, селевые потоки ледово-каменного и грязекаменного типов, формируются озера. Предложено рассматривать ледово-водно-каменный поток как селевое явление особого Уаскаранско-Казбекского типа, обладающее не характерными для других типов селей специфическими особенностями.

Объемы одновременно перемещенного в периоды катастроф вещества в Геналдонском ущелье являются гигантскими по любым меркам. Гляциальная катастрофа 2002 года относится к событиям мирового значения. Если рассматривать события последнего столетия, то селевого объекта, равного бассейну р. Геналдон по объемам перемещенного материала, в российской части Кавказа не существует. В остальной части России только вулканогенные сели на Камчатке превышают по объему потоки в долине Геналдона.

7.1.5. Новые озера у края ледника Башкара

Изучение новых озер у края ледника Башкара позволило определить их размеры и глубины, проследить динамику береговой линии в последние годы, оце

нить потенциальную селевую опасность. Глубины новых озер в 2002 г. достигали 14 м, суммарный объем воды в них оценивается в 65,6 тыс. м³. В результате интенсивных термокарстовых процессов происходит разделение массивов мертвого льда, слагающего дно и берега озерных котловин.

В ближайшие годы по реке Адыл-Су может сойти разрушительный сель. Не исключено, что в селевом процессе примет участие часть вод озера Башкара, имеющего глубину не менее 33 м и объем около 780 тыс. м³. Под угрозой находятся туристические стоянки, строения альплагерей и автодорожный мост. В условиях продолжающейся деградации оледенения и роста селевой опасности следует использовать возможность на примере Башкаринских озер и ледника детально исследовать стадии и механизм формирования гляциальных селевых потоков прорывного генезиса.

7.2. Расчет интегральной селеактивности

Для последующего сравнения различных селевых бассейнов региона имеется возможность рассчитать суммарный показатель селевой деятельности бассейнов Герхожан-Су и Геналдон – интегральную селеактивность за весь период наблюдений. Период наблюдений селевых потоков из бассейна Герхожан-Су составляет 69 лет (1934–2002 гг.). Суммарный объем $\Sigma W_{\text{полн}}$ селевой массы 1960, 1961, 1962, 1977, 1999, 2000 и 2001 гг. составляет 11,9 млн. м³. Интегральная селеактивность бассейна Герхожан-Су $I_{\text{Герх}}$, полученная путем деления суммарного объема на площадь бассейна (имеется в виду бассейн в границах водосбора р. Герхожан-Су, площадь которого равна 75 км²) в единицу времени, таким образом, составит:

$$I_{\text{Герх}} = \Sigma W_{\text{полн}} \cdot 10^3 / (F \cdot T) = 11,9 \cdot 10^3 / (75 \cdot 69) = 2,3 \text{ мм/год.}$$

Учет регенерации должен был бы несколько уменьшить рассчитанные характеристики объема. С другой стороны, если бы были известны объемы ряда небольших селей (например, 1937 года), добавление их при расчетах должно было бы увеличить объем. Занижение частично возмещается некоторым завышением объема вследствие невозможности учесть на данном этапе регенерацию селевой массы. Таким образом, небольшой вычет и небольшое приращение должны частично компенсировать друг друга.

Подсчитать процент регенерации селевой массы довольно сложно. При катастрофах коэффициент регенерации, видимо, не является значительным. Объем материала в 2000 г. был в несколько раз выше объема самого крупного селя прошлых лет. Поэтому в 2000 г. коэффициент регенерации вряд ли мог достигать величины более 10–15%. Наблюдения показывают, что на стадии эпикастрофической адаптации сели состоят из материала, в большой степени регенериро-

ванного: вторично вовлекается в потоки материал, перемещенный селями, а поступление новой массы происходит в основном от осыпавшихся стенок и оползней. За всю стадию эпикастрофической адаптации коэффициент регенерации, видимо, доходит до 60–80%.

Для бассейна р. Геналдон исходные параметры при расчетах таковы. Площадь бассейна составляет 168 км². Интегральная селеактивность за 100 лет включает (без учета подвижки 1969–1970 гг., когда сель не сформировался) массы, перемещенные во время событий 1902 и 2002 гг. Объем масс, вовлеченных в ледоно-водно-каменный сель в 1902 г., оценивался в 70–75 млн. м³ [Поггенполь, 1905], объем в 2002 г. примем за 125 млн. м³ (115 млн. м³ в зоне аккумуляции и 10 млн. м³ в транзитной и транзитно-аккумулятивной зонах). Таким образом, общий объем материала, вовлеченного в катастрофические потоки, составлял около 200 млн. м³. Регенерация в этом случае почти отсутствует, и ею можно пренебречь. Интегральная селеактивность бассейна Геналдон $I_{\text{Генал}}$ за 100 лет, таким образом, составит:

$$I_{\text{Генал}} = \Sigma W_{\text{полн}} \cdot 10^3 / (F \cdot T) = 200 \cdot 10^3 / (168 \cdot 100) = 11,9 \text{ мм/год.}$$

Для сравнения, ранее проводившиеся подсчеты интегральной селеактивности для ряда участков к западу от г. Эльбрус, на которых катастрофические сели не зафиксированы, дали среднюю величину интегральной селеактивности во много раз меньше – около 0,068 мм/год, причем разброс значений составил от 0,013 до 0,125 мм/год [Третьяков, Черноморец, 1990].

7.3. Формирование катастрофических селей как вид цикличности селевого процесса

Цикличность в селевом процессе проявляется в виде колебаний разной периодичности. При рассмотрении хода процессов в течение стадий цикла катастрофического селеформирования может возникнуть эффект элиасинга – “перепутывания частот” [Симонов, 1998]. Чтобы избежать этого, рассмотрим, какие периодические процессы накладываются на ход цикла катастрофического селеформирования. Наиболее характерными из них являются:

1) Суточный цикл. Суточный ход таяния ледников, облачности и образования осадков над селевыми очагами влияет на подготовку материала (осыпание стенок, образование оплывин) и микросели. Типичным примером служит установленный нами суточный ход микроселей по р. Зап. Каяарты-Су в июле–августе 2000 и 2001 гг.

2) Годовой цикл. После летнего селеопасного сезона на Центральном Кавказе в сентябре прекращаются гляциальные сели, а в ноябре – любые селевые

потоки. В зимний период сели отсутствуют, а с наступлением лета начинаются вновь. Годовая цикличность накладывается на стадии цикла катастрофического селеформирования, добавляя сезонную составляющую. На ход стадии влияют метеорологические условия конкретного года (жаркое или прохладное лето, большое или умеренное количество осадков).

3) Циклы солнечной активности. Колебания солнечной активности, например, 11-летней периодичности, возможно, накладываются на цикл катастрофического селеформирования. В настоящее время этот вопрос не исследован и требует дополнительной проработки.

4) Фазы оледенения. Так, наиболее мощные гляциальные сели образуются при отступании ледников, когда от них отделяются массивы мертвых льдов и образуются новые селеопасные озера.

5) Стадии оледенения. На разных стадиях деградации или увеличения площади ледников преобладают различные механизмы формирования селей. Катастрофические сели характерны для стадии деградации оледенения. Изменение механизмов селеформирования при смене стадий оледенения на Центральном Кавказе в последние 2 тысячелетия прослежено в монографии И.Б. Сейновой и Е.А. Золотарева [2001].

Таким образом, происходит наложение циклов разной периодичности, и при анализе стадий цикла катастрофического селеформирования следует отделять составляющую, внесенную другими периодическими процессами.

7.4. Место селей в ряду катастрофических процессов, преобразующих рельеф Земли

Селевая катастрофа приводит к очень быстрому изменению рельефа и нарушению относительного равновесия экзогенных процессов. На стадии эпикатастрофической адаптации происходит преобразование участков, наименее совместимых с геоморфологической обстановкой – таких, как борта селевых врезов отрицательным уклоном, массивы льдистых грунтов в русле. Затем, на стадии межкатастрофической эволюции, относительное равновесие наступает вновь. Но условия, созданные в результате катастрофы, надолго определяют облик долины и характер происходящих в ней процессов. Если использовать терминологию А.Ю. Ретеюма [1988], ядро системы (хорион) превращается в реликт (сфрагиду), продолжая определять геоморфологическую обстановку в долине.

Если происходит особо выдающаяся катастрофа, обычно не хватает терминов, чтобы правильно ее назвать. Крупная катастрофа, подобная событиям в долине р. Геналдон в 2002 г., представляет собой не просто сель, не просто лавину, не просто обвал, а является каскадной сменой нескольких процессов.

Такие катастрофы, как Геналдонская 2002 г., лежат в одном ряду с выдающимися природными процессами, при которых происходили перемещения вещества объемом в сотни миллионов и миллиарды кубических метров. Эти мощные природные явления имеют различные соотношения селевой, обвальной, паводковой и других составляющих.

К таким явлениям можно отнести наиболее крупные из Казбекских завалов XVIII–XIX веков; Усойский завал 1911 г. и образование Сарезского озера – один из самых масштабных случаев эпикатастрофического лимногенеза в XX веке; сейсмотектонические обвалы и следующие после них сели в Гималаях; Ускаранские катастрофы 1962 и 1970 гг. в Перу; ледниковый паводок (jökullhlaur) Гримсват в Исландии в 1996 г.; обвалы, каменные лавины и сели при землетрясениях в зоне разлома Денали (Аляска) в 2002 г., лахары на склонах вулканов Иезимьянн в 1956 г. и Сент-Хеленс в 1980 г. Возможно, в этом же ряду стоят гигантские события, происходившие в раннем голоцене и плейстоцене – прорывы оз. Миссула в Северной Америке 30 тыс. лет назад, образование вала Тюбеле в долине Баксана, потоки Оцеола и Парадайс в окрестностях вулкана Рейнир на западе США. По-видимому, в происхождении всех таких мощных процессов, практически мгновенно изменявших рельеф, велика роль эндогенной составляющей – землетрясений, вулканических извержений и теплового потока из недр Земли.

Катастрофические события являются в полной мере “рельефообразующими”. Они в течение короткого времени (минуты, часы, реже несколько суток) производят работу по изменению рельефа, следы которой остаются на тысячелетия и сохраняются в течение длительного процесса медленных изменений.

7.5. Перспективы использования предложенных разработок

Разумеется, не все аспекты морфолитодинамики селевых очагов Центрального Кавказа удалось охватить в рамках данной работы. В будущем представляется полезным продолжить исследования с применением разработанных подходов.

7.5.1. Локальный прогноз участков будущих катастроф

В монографии рассмотрены вопросы, связанные с геоморфологическим блоком мониторинга катастрофических селей. В будущем необходимо также развить методические подходы, соединяющие его с другими блоками, прежде всего погодно-климатическим. Представляется перспективным использование методов прогнозирования, основанных на классификации элементарных циркуляционных механизмов. Разработка их для условий Центрального Кавказа позволит в последние годы продвинуться в области фонового прогноза, что даст на-

дежду в сочетании с геоморфологическими методами перейти к решению задачи локального прогноза.

В Кабардино-Балкарии и Северной Осетии необходимо изучение соседних долин для анализа структуры литодинамических зон и поиска участков, селевые очаги в которых имеют признаки предкатастрофической подготовки. Так, в бассейне р. Черек Балкарский следует обратить внимание на долины Измялцы-Су и Тютюн-Су. Перспективные для образования катастрофических селей участки имеются в долинах притоков р. Чегем. Крупные неустойчивые селеопасные озера расположены также у края ледников в верховьях р. Малка, где в последние годы обсуждается возможность курортно-бальнеологического освоения. Следует обратить внимание на очаги в бассейне р. Ардон, где летом 2002 г. были зафиксированы сели объемом более 1 млн. м³.

Для изучения трансформации селей в ходе катастрофы, видимо, потребуются детально рассмотреть явление регенерации селевой массы и изучить мультипликативность селевых катастроф.

7.5.2. Космический мониторинг катастрофических селей

Впервые в регионе получены значимые результаты при использовании космических снимков для анализа селевых объектов. В отличие от аэросъемки, которая применяется для исследования селей в течение нескольких десятилетий, при попытках использования космических снимков ранее возникали затруднения из-за низкого разрешения снимков. В данной работе удалось не только выявить по космическим снимкам следы селевой деятельности, но и оценить по ним ряд количественных параметров – таких, как изменение площади эпикатастрофических озер. Получение положительных результатов объясняется несколькими причинами:

- а) при катастрофе изменения охватывают большие площади, что хорошо видно на космических снимках;
- б) возможность оперативного контроля изменений: например, после Геналдонской катастрофы за первый месяц эпикатастрофической адаптации были получены и проанализированы более 10 космических снимков зоны катастрофы;
- в) меньшие, чем при аэросъемке, искажения за рельеф;
- г) улучшение качества снимков в последние годы (такие системы, как IKONOS или QuickBird, позволяют получить изображения с разрешением менее 1 м);
- д) отсутствие проблем, связанных с проведением аэросъемок вблизи государственной границы, что существенно для территории Кавказа.

Все это позволяет рекомендовать космическую съемку как один из основных методов мониторинга катастрофических селей и их последствий.

7.5.3. Продолжение исследований на изученных участках

В долинах, где катастрофы произошли недавно, требуется проводить гляцио-геоморфологический, гидрологический и фотограмметрический мониторинг. Необходимо рассмотреть влияние разломной тектоники на подготовку катастрофических селевых процессов, возможное участие землетрясений в формировании начального импульса селей. Представляется важным проводить текущий мониторинг новообразованных озер, которые могут стать источниками катастрофических селей в ближайшем будущем. Следует обратить внимание государственных служб на необходимость оперативного отражения появляющихся озерных объектов, а также современного положения концов ледников, каменных глетчеров и массивов мертвого льда в высокогорных районах.

В бассейне р. Герхожан-Су, помимо селевого каньона р. Западной Каяарты-Су, следует обратить внимание еще на два вреза: каньон р. Восточная Каяарты-Су и старый селевой врез между Западным и Восточным каньонами, где в будущем возможно образование катастрофических селей. Необходимо провести исследование залегания, мощности и динамики погребенных льдов, которые могут принять участие в селеформировании.

Для участков Джаловчат и Куллумкол-Су в долине р. Адыр-Су следует проводить периодический мониторинг состояния очагов. Необходимо изучить строение очагов и особенности морфологии мертвых льдов в долине левого притока балки Джаловчат, где, по-видимому, имеются потенциальные возможности для формирования селя большой мощности.

В бассейне р. Геналдон необходимо провести комплексные исследования, направленные на всестороннее изучение процессов, происходящих на ледовом теле, новообразованных озерах, в цирке ледника Колка и на стене г. Джимарай-хох. Предстоит изучить влияние теплового потока и вулканической деятельности на таяние под ледниками.

Приуроченность периодических гляциальных катастроф к склонам Казбекско-Джимарайского массива заставляет задуматься о проблеме взаимодействия вулканизма и оледенения на Кавказе. Имеет смысл обратить внимание на Эльб-русский массив, ледники которого в случае теоретически возможной активизации геотермальных процессов могут угрожать десяткам тысяч людей. Представляется полезным заблаговременно рассматривать возможные сценарии подобных событий, прослеживать тенденции процессов и разрабатывать мероприятия по прогнозированию вероятности катастроф.

Для озер у края ледника Башкара требуется анализ состояния плотины, ее насыщения водой и темпов деградации льда. Следует также наладить систему оповещения людей, находящихся в долине, чтобы в случае возникновения опасности обойтись без жертв.

На основе имеющихся материалов предстоит создать полную версию геоинформационной системы для мониторинга селевых катастроф Центрального Кавказа. В качестве основы следует взять сочетание электронных версий топографических карт, космические снимки, данные полевых исследований, тематические карты и результаты моделирования. Следует попытаться свести созданные в процессе работы над монографией прототипы геоинформационных систем на отдельные участки катастроф в рамках единой базы данных.

Мониторинг процессов и разработка специальных защитных мероприятий должны быть направлены на то, чтобы избежать гибели людей и минимизировать экономический ущерб при катастрофических селях в будущем¹.

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 монографии концепцию циклов катастрофического селеформирования и позволяет прийти к следующим выводам:

1. Для анализа закономерностей развития катастрофических селевых процессов предложено понятие цикла катастрофического селеформирования. Он состоит из четырех стадий: предкатастрофической подготовки, селевой катастрофы, посткатастрофической адаптации и межкастрофической эволюции.

2. 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 катастрофическое развитие событий происходит после события небольшой мощности, 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. Значение коэффициента мультипликативности в различных долинах меняется от 16 до 200–600.

3. На стадии селевой катастрофы происходит формирование потока значительной мощности, кардинально преобразующего систему селевых очагов и строения днища долины. Селевые потоки имеют волновой характер. Длительность периода селевых волн, разделенного промежутками наносоводных паводков, иногда достигает 7 дней. Так, весь период с 18 по 25 июля 2000 г. в долине р. Герхо-

¹ В данной монографии приведены результаты исследований по состоянию на март 2003 г. Результаты последующих работ автора и его коллег отражены в публикациях и отчетах [Черноморец, 2003а, в; Черноморец и др., 2003а, б; Алейников и др., 2003; Тутубалина и др., 2003; Тутубалина, Черноморец, 2003а, б; Tutubalina et al, 2003; Сейнова и др., 2003; Черноморец, Запорожченко, 2003; Запорожченко, Черноморец, 2004; Петраков и др., 2004] и на сайте Университетского центра инженерной геодинамики и мониторинга www.ucegm.front.ru.

жан-Су следует рассматривать не как четыре селя, а как единый катастрофический селевой процесс. При катастрофе происходят смена литодинамических зон и качественный переход рельефа долины в новое состояние, которое затем в течение длительного периода контролирует динамику рельефообразующих процессов.

4. Стадия эпикастрофической 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) эпикастрофический 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 эпикастрофической 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.

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

Объем перемещенного материала на стадии эпикастрофической 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 эпикастрофической 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.

5. Стадия межкатастрофической эволюции, наступающая вслед за стадией эпикастрофической адаптации, отличается собственным набором геоморфологических признаков. Главными из них являются следующие: 1) Ледники и массивы мертвого льда отступили от очагов, работавших во время катастрофы. 2) Отсутствуют водоемы-накопители – озера, озеровидные задровые площадки, подледные полости. 3) Поперечный профиль селевого вреза, сформированного при

катастрофе, вместо узкой теснины с крутизной склонов 70–100°, расширяется. Борты врезов выполаживаются до 40–50°, а по прошествии нескольких десятилетий – до 30–35°. В бортах отсутствуют выходы погребенного льда. 4) В днищах селевых долин на пути водотоков исчезают массивы, образовавшиеся вследствие разрушения морен при катастрофе, сложенные льдистыми грунтами и мертвыми льдами. 5) Интенсивность экзогенных процессов в селеопасный период значительно уменьшается.

6. 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.

7. 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.

8. 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 каждый 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.

9. 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 английском же языке отсутствует единое слово, эквивалентное понятию “сель”. Возможно, поэтому селевые потоки разных типов в англоязычных странах принято рассматривать в рамках не одной, а нескольких различных дисциплин.

10. Применение космических снимков для изучения катастрофических селей показало перспективность использования космической информации. По-видимому, в будущем космические снимки высокого разрешения могут стать основой селевого картографирования и оперативного мониторинга морфолитодинамики очагов.

11. В качестве параметра селевой деятельности территории, по мнению автора, может использоваться интегральная селеактивность – величина среднего условного слоя вещества, перемещенного селями в единицу времени. Интегральная селеактивность бассейна р. Герхожан-Су составляет более 2,3 мм/год за 69-летний период наблюдений, бассейна р. Геналдон – 11,9 мм/год за 100-летний период. Значения интегральной селеактивности в бассейнах, где происходили катастрофы, в десятки раз превышают аналогичные значения в районах, где катастроф не было.

12. Расчеты суммарных характеристик селеактивности территории в будущем должны учитывать регенерацию селевой массы – повторное вовлечение материала в селевой поток. 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.

Изученные особенности морфолитодинамики селевых очагов на различных стадиях цикла катастрофического селеформирования характерны для современного периода быстрой деградации оледенения на Кавказе. В случае перелома тенденции развития оледенения сменятся 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, станет несколько иной.

Хотя монография базируется на региональном материале, разработанные в ней методические и теоретические подходы могут быть применены для других горных систем при исследованиях подготовки очагов к селеобразованию, самих селевых катастроф и адаптации очагов после катастрофических событий.

ЛИТЕРАТУРА

- Абалаков В. Под силевым потоком // Сов. туризм и альпинизм. 1940. №15. С.2.
- А.аханянц О.Е. Сарез. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 112 с.
- А.ибалова В.В. Сели в Северной Осетии. Орджоникидзе: Ир, 1983. 115 с.
- А.джиев А.Х., Богаченко Е.М., Сейнова И.Б. Районирование территории КБР по генезису селепроявлений как первооснова для территориального прогноза селей // Всероссийская конференция по селям. Октябрь, 8–11, 2002 г. Тезисы. Высокогорный геофизический институт. Нальчик, 2002. С.15-18.
- А.лейников А.А., Журавлева П.Г., Крыленко И.В., Крыленко И.Н., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Динамика Башкаринских лимногляциальных селевых очагов // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. III научно-практическая конференция. 22–23 октября 2003 г. М.: Центр “Антистихия”, 2003. С.7-8.
- А.лейникова А.М. Возраст моренных отложений долины Адыл-Су (Приэльбрусье) по материалам лихенометрической съемки // Материалы гляциологических исследований. 2001. Вып. 90. С.50-56.
- А.льтберг В.К. Движение ледника Башкара // Кавказ. Ледниковые районы. Тр. ледниковых экспедиций. Л.: ЦУЕГМС, Ленингр. отд-е, 1936. Вып. V. С.357-367.
- А.наньев Г.С. Методология изучения катастрофических процессов рельефообразования и вопросы эколого-геоморфологического риска // Вестник МГУ. Серия 5, геогр. 1992. №4. С.14-20.
- А.наньев Г.С. Катастрофические процессы рельефообразования // Учеб. пособие. М.: МГУ, 1998. 102 с.
- А.наньев Г.С., Леонтьев О.К. Геоморфология материков и океанов. М.: МГУ, 1987. 275 с.
- А.ндреев Ю.Б., Сейнова И.Б. Модельно-статистический подход к разработке прогноза ливневых селей на примере высокогорного Центрального Кавказа // Вестник МГУ. Серия 5, геогр. 1984. №4. С.86-92.
- А.ндреев Ю.Б., Светлосанов В.А., Сейнова И.Б. Краткосрочный прогноз высокогорных ливневых селей (математические модели) // Опасные природные явления и человек. М.: МГУ, 1990. Деп. ВИНТИ 29.01.90, №532-В90. С.84-88.
- А.ристотель. Метафизика. Переводы. Комментарии. Толкования. М.: Алетея, 2002. 832 с.

- Атлас Кабардино-Балкарской республики. М.: ФГУГК России, 1997. 44 с.
- Балдина Е.А. Географо-картографическое обоснование локальной геoinформационной системы высокогорного селевого бассейна (на примере р. Кубасан-ты, Приэльбрусье). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1998. 198 с.
- Барановский А.Ф., Улбаишев Х.М., Мельникова Г.М. Роль защитных гидротехнических сооружений при прохождении селя по р. Герхожан-су в 1999 году. (Кабардино-Балкарская республика) // Материалы IX междунар. научно-практич. конференции. Ессентуки, 2000. С.374-377.
- Бгатов А.П., Суворов В.Б., Черноморец С.С. Дистанционное зондирование экзогенных процессов по трассе железной дороги Уоян-Могзон для обоснования материалов по инженерной защите // Проблемы инженерно-геологических изысканий в криолитозоне. Магадан, Колымское газетное изд-во, 1989. С.260-261.
- Боголюбова И.В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. Л.: Гидрометеониздат, 1957. 152 с.
- Богомолов А.Л., Виноградова Н.Н., Крыленко И.В., Чалов Р.С. О влиянии катастрофических селей в г. Тырнаузе на русло р. Баксан // Геоморфология, 2002. №1. С.65-74.
- Болов В.Р. Принципиальная схема метода активного воздействия в очагах селеформирования // Труды Высокогорного геофизического института, 1984. Вып. 54. С.74-77.
- Боярский И.Я., Семивол Г.Н. Количественные показатели динамики селей оплывинно-оползневого генезиса (на примере ручья Малый Мукулан) // Сели в горных районах СССР. М.: МГУ, 1979. С.12-24.
- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П. Вулкан Бзымянный: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология, 1990. №2. С.2-31.
- Былов М. Метеорологические наблюдения на массиве Эльбруса в августе 1927 года // Метеорологический вестник, 1928. Т.38. №3. С.78-86.
- В Северной Осетии огромная лавина накрыла поселок. 2002. <http://www.ntvru.com/russia/21Sep2002/lavina.html>.
- Вержебицкий А.Ф. О причинах Верненской катастрофы 8-го июля 1921 г. (Отчет о поездке 13-14 июля 1921 года в долину р. Малой Алмаатинки) // Иригация, сельское хозяйство и животноводство, 1921. №2. С.23-27; №3. С.15-18.
- Виноградов Ю.Б. Этюды о селевых потоках. Л.: Гидрометеониздат, 1980. 144 с.
- Висковатов А.А. О периодическом Казбекском завале // Известия Кавказского отдела Русского географического общества, 1864. Вып. 6. С.12-29.
- Висковатов А.А. Девдоракский ледник // Известия Русского географического общества, 1865. Т.1. №4.
- Власов А.Ю., Крашенинникова Н.В. Селевые явления в СССР и методы борьбы с ними. Библиогр. указатель. М.: МГУ, 1969. 215 с.

- Гвоздецкий П.А., Голубчиков Ю.П. Горы. М.: Мысль, 1987. 399 с.
- География России. Энциклопедический словарь. А.П. Горкин – гл. ред. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. 800 с.
- Герасимов А. О прорыве ледникового озера на NO склоне Эльбруса // Известия Геолкома, 1909. Т.28. №7. С.156-160.
- Герасимов А.П. Северо-восточное подножье Эльбруса // Известия Геолкома, 1911. Т.30. №2. С.77-151.
- Герасимов В.А. Селевые потоки в районе г. Тырнауза 1/VIII 1960 г., 14/VIII 1961 г. и 31/VII 1962 г. // Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1967а. Вып. 6. С.198-205.
- Герасимов В.А. Условия образования селей в бассейне р. Герхожансу // Физика снежного покрова и снежные лавины. Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1967б. Вып. 9. С.99-114.
- Герасимов В.А. Катастрофические сели в бассейне реки Баксан // Природа, 1968. №12.
- Герасимов В.А. Гляциальные сели и некоторые вопросы борьбы с ними // Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1969. Вып. 15. С.81-91.
- Герасимов В.А. Селевые потоки 10 и 11 августа 1977 г. в бассейне р. Герхожансу (Северный Кавказ) и условия их образования // Селевые потоки, 1980. Вып. 4. С.68-76.
- Герасимов В.А. Схема прогнозирования селевых потоков в бассейне р. Герхожансу // Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1981. Вып. 49. С.133-137.
- Герасимов В.А. О селях 1977 г. в бассейне р. Баксан и некоторые данные о селях последующих лет // Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1985. Вып. 62. С.71-76.
- Гляциологический словарь. В.М. Котляков – ред. Л.: Гидрометеониздат, 1984. 526 с.
- Гнездилов Ю.А. О влиянии оползня "Бузулган" на селевые потоки р. Герхожан-Су // Сб. научн. трудов Севкавказгипродроза. Пятигорск, 2002. Вып. 15. С.149-155.
- Голосов В.Н., Черноморец С.С. Осыпные процессы // Современные экзогенные процессы в предгорьях Западного Тянь-Шаня. М., 1987а. Деп. ВИНТИ №6388, С.40-58.
- Голосов В.Н., Черноморец С.С. Пространственно-временные закономерности осыпания лессов на овражных склонах // Эрозионно-аккумулятивные процессы: проблемы, задачи, решения. М., 1987б. Деп. ВИНТИ №8312-В87. С.68-71.
- Голубев Г.Н. Гляциальные сели // Вестник МГУ. Серия 5, геогр. 1964. №4. С.42-48.
- Голубев Г.Н. О формировании и прогнозировании гляциальных селей // Материалы гляциологич. исслед. М., 1966. Вып. 12. С.144-149.
- Голубев Г.Н., Лабутина И.А. Денифрирование селей высокогорий по аэрофотоснимкам // Вестник МГУ. Серия 5, геогр. 1966. №1. С.48-53.

- Голубев Г.Н., Лабутина И.А. Изменения рельефа морен в зоне формирования гляциальных селей (по данным аэрофотосъемок) // Материалы гляциологических исследований. М.: АН СССР, 1968. №14. С.322-325.
- Гритчин Н. Кармадонское ущелье хотят очистить принудительно // Известия, 14.10.2002.
- Громов В.А., Кайнер В.Д. Опыт определения максимального селевого выброса в бассейне р. Клузкол-Су (КБ АССР) // Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата: Казахстан, 1984. С.209-215.
- Гумилев Н.С. Африканский дневник // Глоток зеленого шартреза. М.: Эксмо-Пресс, 2001. С.385-411.
- Давыдов А. Кармадон: долина смерти // Северный Кавказ, 2002. №39 (595). С.1-2.
- Дементьева С. Почему упал ледник Колка? // Ломоносов, 2003. №3 (9). С.82-88.
- Дзержевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. Циркуляция атмосферы. М., 1968. 240 с.
- Докукин М.Д. К вопросу о процессах формирования и трансформации селей в бассейне р. Герхожансу // Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1985. Вып. 57. С.58-71.
- Докукин М.Д. Формирование гляциальных селевых очагов при деградации ледников Приэльбрусья // Материалы гляциологических исследований, 1985. Вып. 53. С.62-71.
- Докукин М.Д. Особенности морфологии морен и распространения очагов гляциальных селей в долине р. Адырсу (бассейн р. Баксан) // Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1987б. №66. С.47-62.
- Докукин М.Д. Эволюционная модель формирования гляциальных селей р. Каяартысу (бассейн р. Баксан) // Труды Высокогорного геофизического ин-та, 1987в. Вып. 66. С.33-47.
- Докукин М.Д. Типы моренного рельефа и селевая опасность (на примере северного склона Центрального Кавказа). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. Нальчик, 1993.
- Дубинский Г.П., Снегур И.П. Физико-географические особенности верховьев р. Баксан и метеорологические наблюдения на леднике Башкара // Материалы Кавказской экспедиции (по программе МГГ). Харьков: Харьковский ун-т, 1961. Т.III. С.215-285.
- Дубянский В.В. К петрографии Эльбруса // Известия Варшавского политехн. ин-та, 1913. Вып. 3. С.1-156.
- Духовской А.И. Наблюдения за Девдоракским ледником в 1909-1912 гг. в связи с данными о нем с 60-х годов XIX столетия // Труды XIII съезда естествоиспытателей и врачей в г. Тифлисе 16-24 июня 1913 г. Тифлис, 1916. Т.6.

- Духовской А.И. Исследования Кавказских ледников: Суатиси, Мна, Ортшери, Абано, Чачского и ледника Кибини Кистинского ущелья в 1909-1913 гг. // Известия Кавказского отдела Русского географического об-ва, 1917. Т.25. Вып. 1.
- Дэвис В.М. Геоморфологические очерки. М.: ИЛ, 1962. 455 с.
- Епанечников В.В. Научная экспедиция о наводнении. Правда (Алма-Ата), 1921, 27-29 июля. №62-63. С.2.
- Ермаков А.В. Опыт геоморфологических исследований селевых бассейнов (на примере бассейнов рек Главного Кавказа и районе Военно-Грузинской дороги) // Материалы IV Всесоюз. конф. по селевым потокам. Алма-Ата: АН КазССР, 1959. С.21-31.
- Ермаков А.В. Сели района Военно-Грузинской дороги (Центральный Кавказ). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М.: Ин-т географии АН СССР, 1964. 18 с.
- Ефремов Ю.В., Ильичев Ю.Г. Красные ледниковые озера в бассейнах рек Кубани и Терека // Вестник Краснодарского отдела Русского географ. об-ва. Краснодар, 1998. Вып. 1. С.66-78.
- Жуков А.В., Серапинас Б.Б. Практикум по спутниковому позиционированию. Ю.Ф. Книжников – ред. Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2002. 120 с.
- Залиханов М.Ч., Москалев Е.Л. Критические значения метеорологических параметров селеопасности на северном склоне Центрального Кавказа // XVI Всесоюзная научно-технич. конф. по методам расчета и прогноза селевых потоков. Тезисы докл. М.: Гидрометеиздат, 1981. С.111-112.
- Записки А.П. Ермолова. 1798-1826 гг. М.: Высшая школа, 1991. 463 с.
- Запорожченко Э.В. Необычный сель на р. Куллумкол-Су // Метеорология и гидрология, 1985. №12. С.102-108.
- Запорожченко Э.В. Старый "Джайлык" умер – да здравствует новый! (История гибели и восстановления глазами и в документах инженера-геолога) // История развития мелиорации на Северном Кавказе в зоне деятельности "Севкавгипроводхоза". Сб. научн. тр. Севкавгипроводхоза, 1998. Вып. 13. С.89-117.
- Запорожченко Э.В. Новейшая история Тырнаузских селевых катастроф // Мелиоратор Ставрополя, 2000. №17. С.18; 2001а. №1. С.20.
- Запорожченко Э.В. Сели 18-25 июля 2000 г. по рекам Кая-Арты-Су – Герхожан-Су // Геологическое изучение и использование недр. Научно-технич. и информ. сборник. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2001б. Вып. 6. С.66-74.
- Запорожченко Э.В. Сель редкой повторяемости в бассейне р. Герхожан-Су. Инженерная оценка и решения по защите г. Тырнауз (КБР) // Труды Междунар. конференции; Геотехника. Оценка состояния оснований и сооружений. Том 2. Секция "Мониторинг оснований и грунтовых сооружений". СПб., 2001в. С.53-60.
- Запорожченко Э.В. Сели бассейна Герхожан-Су: история проявления, условия формирования, энергетические характеристики // Сб. научных трудов Севе-

- ро-Кавказского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства ОАО "Севкавгипроводхоз". Пятигорск, 2002. Вып. 15. С.80-148.
- Запорожченко Э.В. Геналдонская гляциальная катастрофа 2002 года // Мелиорация и водное хозяйство, 2003а. №1. С.2-6.
- Запорожченко Э.В. Ледник Колка и долина р. Геналдон: вчера, сегодня, завтра // Сб. научных трудов Северо-Кавказского института по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства ОАО "Севкавгипроводхоз". Пятигорск, 2003б. Вып. 16. С.15-35.
- Запорожченко Э.В. Сход ледника Колка 20 сентября 2002 года и его последствия // Вестник Кавказского горного об-ва. Наследие. Пятигорск, 2003в. №4. С.44-48.
- Запорожченко Э.В., Кайнер В.Д. Селеносность р. Куллумкол-Су и мероприятия по защите альпинистского лагеря Джайлык // Инженерные изыскания в строительстве. М., 1978. Сер. XV. Вып. 5 (70). С.52-55.
- Запорожченко Э.В., Сиников В.А. Защитные мероприятия в долине р. Гизельдон, вызванные наступлением ледника Колка // Инженерная защита от опасных геологических процессов. Пятигорск: ОАО "Севкавгипроводхоз", 1997. Вып. 12. С.48-52.
- Запорожченко Э.В., Черноморец С.С. История и изученность Казбекских завалов // Вестник Кавказского горного общества. Пятигорск, 2004. №5. С.33-54, 159.
- Засохов Л.Г., Соттаев А.Х. Русско-кабардинско-балкарский разговорник. Нальчик: Эльбрус, 1989. 168 с.
- Захаренко Е.Н., Комарова Л.Н., Нечаева И.В. Новый словарь иностранных слов: 25000 слов и словосочетаний. М.: Азбуковник, 2003.
- Защита земель Карачаево-Черкесии от эрозии и селей: Черкесск, Карачаево-Черкесское отд. Ставроп. кн. изд-ва, 1972. 119 с.
- Золотарев Е.А., Поповнин В.В., Сейнова И.Б. Режим ледника Каярты на Центральном Кавказе - активного селевого очага // Материалы гляциологич. исследований. 1982. Вып. 43. С.69-75.
- Золотарев Е.А., Сейнова И.Б. Катастрофические сели Приэльбрусья за два последних тысячелетия // Материалы гляциологич. исследований. М., 1997. №82. С.184-189.
- Зубов П. Шесть писем о Грузии и Кавказе, писанные в 1833 году. М., 1834. 107 с.
- Иверонова М.И. Опыт количественного анализа процессов современной денудации // Известия АН СССР. Серия Географ. 1969. №2. С.13-24.
- Иогансон В.Е. Селевой паводок на р. Куро 8 августа 1955 года // Известия АН СССР. Серия Географ. 1957. №6. С.87-90.
- Кабардино-Балкарская республика. Карта масштаба 1:250000. Нальчик. Туристский план масштаба 1:18000. Приэльбрусье. Туристская карта масштаба 1:80000. Пятигорск: Картинформ, 2001.

- Кавецкий С.П., Калмыкина Е.М. Сель на р. Песмык 7 июля 1963 года // Вестник МГУ. Серия Географ. 1964. №2. С.77-80.
- Катастр лавинно-селевой опасности Кабардино-Балкарской Республики. М.Ч. Залиханов – ред. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 64 с.
- Катастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа. М.Ч. Залиханов – ред. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 112 с.
- Кайнер В.Д., Громов В.А. Инженерно-геологические особенности селеформирования в бассейне р. Клумкол-Су (КБ АССР) // Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата: Казахстан, 1984. С.202-208.
- Калмыкина Е.М., Горбунов А.П. Причины возникновения и рельефообразующая роль Иссыкского селя // Известия АН СССР. Серия Географ. 1967. №4. С.53-58.
- Кирисев А.С. Лесомелиорация в бассейне р. Терек // Горная мелиорация/ Владикавказ: Терводком, 1928. С.7-46.
- Кирисев А.С. Лесные мелиорации // Горно-мелиоративные работы. М.-Л.: Сельхозгиз, 1934. С.168-208.
- Карчинов С. В Осетии (стихийные бедствия). Кавказ, 26.06, 1914. №143.
- Каталог ледников СССР. Том 8. Северный Кавказ. Часть 5. Бассейны рек Малки, Баксана. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 145 с.
- Каталог ледников СССР. Т.8. Северный Кавказ. Ч.10. Бассейны рек Фиагдона, Гизельдона. Ч.11. Бассейн верховьев р. Терека. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 67 с.
- Каталог селеопасных рек на территориях Северного Кавказа и Закавказья. Г.Н. Хмаладзе – ред. Тбилиси: ГУГМС, 1969. 363 с.
- Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 560 с.
- Киров С.М. (Миронов С.). Катастрофа на леднике Абано // Победенные вершины. Год 1948. Ежегодник советского альпинизма. М.: ОГИЗ, 1948. С.281-282. (Перепечатка из газеты Терек, №3815, от 2.09.1910 г.).
- Коталев П.В. О силовом потоке в долине Адыр-Су // Победенные вершины. Год 1950. Ежегодник советского альпинизма. М.: Географгиз, 1950. С.274-285.
- Коталев П.В. Некоторые черты оледенения долины Баксана // Победенные вершины. Год 1953. Ежегодник советского альпинизма. М.: Географгиз, 1954. С.318-342.
- Коталев П.В. Геоморфологические исследования в Центральном Кавказе (бассейн р. Баксан). Харьков: Харьковский ун-т, 1957. 162 с.
- Коталев П.В. О селях на северном склоне Центрального Кавказа // Материалы Кавказской экспедиции (по программе МГГ). Харьков: Харьковский ун-т, 1961а, с. Т.III. С.149-161.
- Коталев П.В. Современное оледенение бассейна р. Баксан // Материалы Кавказской экспедиции (по программе МГГ). Харьков: Харьковский ун-т, 1961б, Т.II. С.3-106.

- Ковалев П.В. Современное оледенение Казбекско-Джидарайского массива // Материалы Кавказской экспедиции по программе МГГ. Харьков: Харьковский ун-т, 1961в. Т.3. С.3-44.
- Ковалев П.В. Селевые потоки на северном склоне Центрального Кавказа // Материалы V Всесоюз. совещ. по изучению селевых потоков и мер борьбы с ними. Баку: АН АзССР, 1962. С.80-84.
- Ковалев П.В. Закономерности развития оледенения на территории Большого Кавказа (Диссер. в форме науч. докл. докт. геогр. наук.). М.: МГУ, 1966. 94 с.
- Ковалев П.В., Ковалев А.П. К вопросу о районировании Северного Кавказа по селеобразующим ливням // Вестник Харьковского ун-та, 1976. №136. Геол. геогр. Вып. 7. С.71-75.
- Кожеевников А.В. Антропоген гор и предгорий (генетический анализ). М.: Недра, 1985. 181 с.
- Кондакова Н.Л. Анализ растительности высокогорий КБ АССР для оценки условий селеобразования // Фитоиндикационные методы в гляциологии. М.: МГУ, 1971. С.73-84.
- Кононов Е.П. Селевой поток на р. Тютю-Су на Северном Кавказе в 1934 г. Известия Гос. гидрологического ин-та, 1935. №70. С.55-58.
- Короновский Н.В., Милановский Е.Е. Происхождение вала Тюбеле в ущелье Басана (Центральный Кавказ) // Вестник МГУ, сер. геол. 1960. №5. С.69-77.
- Костенко Н.П., Сейнова И.Б. Ороклиматические и структурно-геологические условия формирования селевых потоков // Вестник МГУ, сер. геол. 1982. №1. С.26-32.
- Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха // Материалы гляциологич. исследований. 1966. Вып. 12. С.15-164.
- Крыленко И.В., Петраков Д.А., Черноморец С.С. Перестройка рельефа в долине Герхожан-Су (Центральный Кавказ) после катастрофических селей 18-25 июля 2000 года // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Тезисы докладов участников IV международной конференции. Владикавказ, 23-26 сентября 2001. Владикавказ: Ремарко, 2001а. С.471-472.
- Крыленко И.В., Петраков Д.А., Черноморец С.С. Оценка условий формирования селей в бассейне Герхожан-Су и рекомендации по защите города Тырнауза // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Тезисы докладов участников IV международной конференции. Владикавказ, 23-26 сентября 2001. Владикавказ: Ремарко, 2001б. С.469-471.
- Крыленко И.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Морфодинамика горного бассейна после селевой катастрофы // Состояние и развитие горных систем (материалы науч. конф. по монтологии). СПб: Русское географическое об-во, 2002а. С.93-99.
- Крыленко И.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Динамика бассейна Герхожан-Су после селевой катастрофы 2000 года // Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата. Гляциологический симпозиум. Тезисы. Пушкино, 2002б. С.12-13.
- Крыленко И.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. О влиянии криогенного фактора на механизм формирования селей // Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты. Материалы международной конференции. Пушкино, 2002в. С.145-146.
- Крыленко И.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Журавлева П.Г. Динамика селевого бассейна р. Герхожан-Су (Кабардино-Балкария) после катастрофы в июле 2000 года // Материалы гляциологич. исследований. 2004. Вып. 96. С.159-166.
- Кудинов Б.Ф. Жизнь вернулась в горы // Победенные вершины. Год 1948. Ежегодник советского альпинизма. М.: ОГИЗ, 1948. С.24-30.
- Кутецов И.Г. Случай внезапного наступления одного ледника на Северном Кавказе весной 1925 г. // Вестник Геолкома, 1926. №2.
- Ледник Колка: снова катастрофа // Материалы гляциологич. исследований. 2002. Вып. 93. С.221-228.
- Леонтьев Г.С. Синоптические условия паводков в бассейне р. Терек // Ученые записки Северо-Осетинского гос. пед. ин-та. Т.1. Орджоникидзе, 1938.
- Лермонтов М.Ю. Герой нашего времени. М.: Радуга, 2001. 352 с.
- Ломоносов М.В. О слоях земных // Избранные произведения. В 2-х т. Т.1. Естественные науки и философия. М.: Наука, 1986. С.361-434.
- Лурье П.М. Оценка современного состояния и прогноз водных ресурсов Кавказа. Автореф. дисс. докт. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2003. 46 с.
- Мальнева И.В., Кононова Н.К. Метеорологические условия формирования катастрофических селей в июле 2000 г. в бассейне р. Герхожан-Су и прогноз селевой опасности // Геологическое изучение и использование недр. Науч.-техн. и информ. сб. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2001. Вып. 6. С.75-81.
- Мальнева И.В., Сейнова И.Б., Кононова Н.К. Основные изменяющиеся факторы формирования селей в Центральной части Главного Кавказского хребта и их прогнозирование // Исследования механизма развития экзогенных геологических процессов и факторов, их обуславливающих. М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. С.99-105.
- Мальнева И.В., Сейнова И.Б. Изучение режима селей, формирующихся на отвалах открытых горных выработок // Изучение режима экзогенных геологических процессов в районах интенсивного хозяйственного освоения. М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. С.84-88.

- Мальнева И.В., Сейнова И.Б., Кононова Н.К., Берковченко С.А. Прогноз гляциальных селей в центральной части Главного Кавказского хребта // Материалы гляциологич. исследований. 1990. Вып. 69. С.50-55.
- Махорин А.А. Полетаев А.И. Значение линеamentного анализа горных территорий для изучения экзогенных геологических процессов (на примере Северного Кавказа) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1989. №1. С.133-136.
- Машуков Х.М., Вороков В.Х., Камбиев М.М., Зекорев Р.Х., Гучашиев М.Х., Ивазов А.К. Основные условия и факторы формирования и развития селей в бассейне реки Баксан // Всероссийская конференция по селям. Октябрь, 8-11, 2002 г. Тезисы. Нальчик: Высокогорный геофизический ин-т, 2002. С.5-7.
- Методическое руководство по комплексному изучению селей. М.В. Чуринов, А.И. Шеко – ред. М.: Недра, 1971. 158 с.
- Мурзаев Э.М. Словарь народных географических терминов. М.: Мысль, 1984. 653 с.
- Непорожний П.С. Соображения к вопросу защиты деривации Баксангэс от селевых потоков // Бюлл. Техн. Информации (Главгидроэнергострой), 1938. №7. С.1-4.
- Никулин А.С., Баранова Е.Ю., Гнездилов Ю.А. Исследования и расчеты селевых паводков на р. Куллумкол-Су к защите альплагеря Джайлык // Сборник научн. трудов Севкавгипроводхоза. Пятигорск, 1987. Вып. 7.
- Обвал Генал-донского ледника // Ежегодник Кавказского горного общества в гор. Пятигорске. №1 за 1902 и 1903 гг. П.Н. Перваго – ред.. Пятигорск: тип. Е.П. Садовникова, 1904. С.61-66.
- Ожегов С.И. Словарь русского языка. Н.Ю. Шведова – ред. М.: Русский язык, 1991.
- Оллиер К. Тектоника и рельеф. А.А. Лукашов – ред. М.: Недра, 1984. 460 с.
- Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Г.Г. Сванидзе – ред. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 264 с.
- Орешикова Е.И. Ледники Эльбурского района по исследованиям 1932-1933 гг. // Кавказ. Ледниковые районы. Труды ледниковых экспедиций. Л.: Ред.-изд. отдел ЦУЕГМС, Ленингр. отд-е, 1936. Вып. V. С.239-299.
- Осокин Н. Что вызывает обвалы // Аргументы и факты, 2002а. №39. С.4.
- Осокин Н.И. Ледниковая катастрофа в Осетии // География, 2002б. №43 (674), 16-22 ноября. С.3-7.
- Пагирев Д.Д. Падение ледников с Гимарай-хоха // Известия Кавказского отдела Императорского Русского географического об-ва. Тифлис, 1902. Т.XV. Вып. 3. С.32-48.
- Панов В. Трагедию в Северной Осетии спровоцировало землетрясение // Известия, 09.10.2002, С.2.
- Панов В.Д., Лурье П.М., Заруднев В.М. Селевые потоки в бассейне Герхожансу (Северный Кавказ) в июле 2000 г. // Метеорология и гидрология, 2001. №2. С.89-97.

- Панов В.Д., Ильичев Ю.Г., Лурье П.М. Ледниковый обвал в горах Северной Осетии в 2002 г. // Метеорология и гидрология, 2002. №12. С.94-98.
- Парамонов Б.А. Разработка крупномасштабных селевых карт (на примере Кабардино-Балкарской АССР) // Материалы научно-технич. совещания по вопросам методики изучения и прогноза селей, обвалов и оползней. Тезисы докл. Душанбе, 1970. С.195-197.
- Парамонов Д.А. Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Геоинформационное картографирование бассейна Герхожан-Су (Центральный Кавказ) для подготовки к мониторингу селевых процессов // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Тезисы докл. участников IV международной конференции. 23-26 сентября 2001. Владикавказ: Ремарко, 2001. С.476-477.
- Перов В.Ф. Селевые явления на территории СССР // Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР. Серия гидрология суши. 1989. Т.7. С.3-149.
- Перов В.Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. М.: МГУ, 1996. 45 с.
- Перов В.Ф. Типология селевых бассейнов // Труды Междунар. конф. по эрозийно-селевым и смежным проблемам. Тбилиси: Ин-т гидроэкологии АН Грузии, 2001. С.191-193.
- Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. По следам Геналдонской катастрофы: год спустя // Криосфера Земли, 2004. Т.VIII. №1. С.29-39.
- Поггенголь Н.В. По северным долинам Казбекского массива и первое восхождение на Майли-хох // Ежегодник Русского горного об-ва, 1905. Т.3. С.1-37.
- Погребецкий М. Силь в Адыр-Су // На суше и на море, 1941. №1. С.19-20.
- Полквой А.П. Каковы же причины схода ледяной лавины // Северная Осетия, №178 (23735), 24.09.2002.
- Попович В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Глобальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // Криосфера Земли, 2003. Т.VII. №1. С.3-17.
- Псарев М. О движении сели (ображенных выносов), бывшем причиной катастрофы в г. Ордубате и в селении Акулисах Нахичеванского уезда // Известия Кавказского отделения Русского технич. об-ва. Тифлис, 1885. Т.17. Вып. 3. С.1-16.
- Пушкин А.С. Путешествие в Арзрум во время похода 1829 года – Полное собрание сочинений. В 10 тт. Л.: Наука, 1977-1979. Т.6. Художественная проза. 1978. С.432-484.
- Пыльцов Н.Н. О внезапных наводнениях и селях в Нухинском уезде Елизаветпольской губернии // Записки Кавказского отдела Императорского Русского географ. об-ва, 1904, Т.17. №4. С.244-282.
- Ренгартен В.П. Гидрогеологический очерк бассейнов западных притоков Терек. 1918.
- Ретеком А.Ю. Земные миры. М.: Мысль, 1988. 266 с.

- Роттаев К.П. Ледник Колка – факты и выводы // Материалы гляциологич. исследований. М., 1974. Вып. 24. С.109-116.
- Роттаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 168 с.
- Рубцов Е.А. К вопросу о возможности прогнозирования селевых потоков на Северном Кавказе // Материалы Кавказской экспедиции, т. 7. Харьков: Харьковский ун-т, 1969. С.85-87.
- Рубцов Е.А., Сейнова И.Б. Комплексное изучение селеопасного района города Тырнауза // Селевые потоки и горные русловые процессы. Ереван: АН АрмССР, 1968. С.297-303.
- Рудой А.Н. Ледниковые катастрофы в новейшей истории Земли // Природа, 2000. №8. С.36-45.
- Руководство по изучению селевых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 144 с.
- Рустамов С.Г. Азербайджан. Сведения о наиболее сильных селях и оценка бассейнов по степени их селености // Сели в СССР и методы борьбы с ними. М.: Наука, 1964. С.94.
- Садов А.В. Аэрометоды изучения селей. М.: Недра, 1972. 126 с.
- Садов А.В. Изучение экзогенных процессов аэроландшафтным методом. М.: Недра, 1978. 151 с.
- Самарина А. Виновной объявлена природа // Время МН, № 175, 28.09.2002. С.1, 3.
- Сейнова И.Б. Условия формирования селевых потоков в Кабардино-Балкарской АССР (Центральный Кавказ). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М., 1970.
- Сейнова И.Б. Селевые процессы бассейна р. Баксан в последнем тысячелетии (Центральный Кавказ). М., 1997. Деп. ВИНТИ №9763-В97. 295 с.
- Сейнова И.Б., Андреев Ю.Б., Светлосанов В.А. К прогнозу ливневых селей высокогорного района // XVI Всесоюз. науч.-техн. конф. по методам расчета и прогноза селевых потоков. Тезисы докл. М.: Гидрометеиздат, 1981. С.106.
- Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья. (Эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 204 с.
- Сейнова И.Б., Кошелева Н.Е., Татьяна Л.В. Расчет водной составляющей селевых потоков методом математического моделирования // Тезисы докл. XVI науч.-техн. конф. по проектированию противоселевых сооружений. Ташкент, 1978. Вып. 2. С.45-48.
- Сейнова И.Б., Мальнева И.В., Кононова Н.К. Изменение активности и прогноз гляциальных селей Центрального Кавказа в XX столетии // Материалы гляциологич. исследований. 1998, Вып. 84. С.114-120.
- Сейнова И.Б., Рубцов Е.А. Причины селевой активности в бассейне р. Герхожан-Су // Труды Гос. гидрологического ин-та, 1968. Вып. 141. С.121-126.
- Сейнова И.Б., Сухоручкина Е.В., Черноморец С.С. Ареал лихенометрической информативности селевых отложений // Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков. Материалы Междунар. науч. техн. конф. (г. Пятигорск, 17-21 ноябрь 2003 г.). Вып. 1. Новочеркасск-Пятигорск, 2003. С.39-40.
- Сейнова И.Б., Татьяна Л.В. Критические значения метеорологических параметров селеопасных ситуаций высокогорного района Центрального Кавказа // Метеорология и гидрология, 1977. №12. С.74-82.
- Селевые явления бассейна р. Киччай и мероприятия по борьбе с ними. Баку: АН АзербССР, 1965. 140 с.
- Селеопасные районы Советского Союза. С.М.Флейшман, В.Ф.Перов – ред.. М.: МГУ, 1976. 293 с.
- Сели в СССР и меры борьбы с ними. М.: Наука, 1964. 282 с.
- Семочкин Г. О первооткрывателях и истории открытия Тырны-Аузского вольфрам-молибденового месторождения // Признания души. Песенгуки, 2001. С.496-521.
- Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. М.-Смоленск: Смоленский гуманитарный ун-т., 1998. 272 с.
- Словарь иностранных слов. М.: Русский язык, 1986. 608 с.
- Статковский Б. Проект через хребет Кавказских гор между урочищем Квишеты и станцией Коби // Журнал Гл. управления путей сообщения и публичных зданий. 1859. Т.39. Кн.2-3. С.249-282.
- Статковский Б. Исследования причин происхождения периодического Казбекского завала // Журнал Министерства путей сообщения, 1866а. Кн.3. С.1-34.
- Статковский Б. Краткая записка о действиях в 1865 году экспедиции для исследования причин периодического Казбекского завала // Записки Кавказского отдела Императорского Русского географического об-ва, 1866б. Кн.7. С.1-20.
- Статковский Б. Об ожидаемом Казбекском завале // Известия Императорского Русского географического об-ва, 1877. Т.13. Вып. 2. С.53-65.
- Статковский Б. Краткая записка о действиях в 1865 году экспедиции для исследования причин Казбекского завала // Сборник сведений о завалах, упавших с горы Казбека с 1776 по 1878 г. на Военно-Грузинскую дорогу. Тифлис, 1884. С.233-266.
- Стебницкий И.И. О распределении ледников на Кавказе // Известия Кавказского отдела Русского географического об-ва, 1877. Т.5. №1. С.1-21.
- Татаишидзе З.К., Бондырев И.И., Церетели Э.Д. Некоторые аспекты горного законодательства Грузии и проблемы устойчивого развития горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий/ проблемы регионального сотрудничества и региональной политики горных районов. Тезисы докл. участников IV международной конференции. Владикавказ, 23-26 сентября 2001. Владикавказ: Ремарко, 2001. С.101-102.
- Тяутиева Т. Колка еще напоминает о себе // Северная Осетия, 15 февраля 2003 г., №31. С.8.

- Тепцов В.Я. По истокам Кубани и Терека // Сборник материалов для описания местности и племен Кавказа. Тифлис, 1892. Вып. 14. С.59-212.
- Третьяков И.А., Черноморец С.С. Селевые бассейны Карачаево-Черкесской автономной области // Изучение опасных природных явлений: Методика и результаты. М., 1990. Деп. ВИНТИ №981-В90. С.51-59.
- Турманина В.И. Количественная оценка селености бассейна по растительности // Селевые потоки и горные русловые процессы. Ереван: АН Армянской ССР, 1968. С.305-309.
- Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Снимки IRS для мониторинга последствий ледниковых катастроф // Информ. бюлл. ГИС-Ассоциации, 2003а. №4 (41). С.55-57.
- Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Ледник Колка и долина реки Геналдон через год после катастрофы // Всероссийская конф. "Современные геоинформационные системы для предупреждения и ликвидации ЧС. Теория и практика". М., 2003б. 1 с. (CD-ROM).
- Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Алейников А.А. Кармадонская катастрофа год спустя: результаты космического мониторинга // Первая междунар. конф. "Земля из космоса: наиболее эффективные решения", 26-28 ноября. Сборник тезисов. Инженерно-технологический центр СканЭкс. М.: ООО "Бином-Пресс", 2003. С.54-55.
- Тушинский Г.К., Попов А.И., Голубев Г.Н., Мудров Ю.В., Тумель Н.В. Опыт изучения гляциальных селей Большого Кавказа (на примере реки Герхожансу бассейна реки Баксана) // Информ. сборник о работах по МГТ, 1966. №13. С.5-106.
- Указ Президиума Верховного Совета Союза ССР О переселении балкарцев, проживающих в Кабардино-Балкарской АССР, и о переименовании Кабардино-Балкарской АССР в Кабардинскую АССР. 8 апреля 1944. М., 1944. Государственный архив РФ, ф.7523, оп. 4, д. 220, л. 63.
- Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 312 с.
- Флейшман С.М., Перов В.Ф. Сели. М.: МГУ, 1986. 127 с.
- Флейшман С.М., Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Формирование гляциальных селей непрорывного генезиса в бассейне Герхожан-Су на Северном Кавказе // Материалы гляциологич. исследований. 1979. Вып. 35. С.195-198.
- Хатисян Г.С. Казбекские ледники в период с 1862 по 1887 г. // Известия Императорского Русского географического об-ва, 1888. Т.24. Вып. 5. С.326-347.
- Хворостов В.В. Селевые процессы в верховьях рек Кубани и Кумы // Сборник работ гидрометеорол. центра. Гляциология Северного Кавказа. Л.: Гидрометеоздат, 1987. Вып. 2 (20). С.48-58.
- Хворостов В.В. Районирование селеактивных территорий (на примере северного склона Большого Кавказа). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М., 1996.

- Хмелева Н.В., Виноградова Н.Н., Самойлова А.А., Шевченко Б.Ф. Бассейн горной реки и экзогенные процессы его в пределах (результаты стационарных исследований). Р.С. Чалов – ред. М.: Географический факультет МГУ, 2000. 186 с.
- Ходаков В.Г. Измерение, расчет и прогноз деградации новообразованного янгики ледника Колка // Материалы гляциологич. исследований, 1974. Вып. 24. С.125-136.
- Церетели Э.Д., Церетели Д.Д. Геологические условия развития селей в Грузии. Тбилиси: Мецниереба, 1985. 186 с.
- Черноморец С.С. Литодинамическое зонирование селевых бассейнов для оценки селевой опасности // Материалы XXVI Всесоюзной научно-студенческой конференции. Геология. Новосибир. ун-т. Новосибирск, 1988. С.17-22.
- Черноморец С.С. Детализация структуры селевых бассейнов как основа для реконструкций бюджета наносов при размещении горных дорог // Тезисы докл. к конф. молодых ученых и специалистов "Эффективности и качеству исследований – мировой уровень" (г. Москва, 25-27 апреля 1989 г.). М.: ЦНИИС, 1989. С.8-9.
- Черноморец С.С. Анализ селевой опасности по трассе железной дороги Уоян-Могзон с применением дистанционных материалов // Экзогенный морфогенез в различных типах природной среды. Тезисы докл. Всесоюзной конф. М.: МГУ, 1990а. С.200-201.
- Черноморец С.С. Оценка экзодинамических условий в бассейне реки Малка по материалам космической съемки. М.: Всесоюзный научно-исслед. ин-т транспортного стр-ва, 1990б. 21 с.
- Черноморец С.С. Расчет объема селевой массы // Транспортное строительство, 1991. №11. С.4-6.
- Черноморец С.С. Опасность селя в Адылсу нарастает // Вольный Ветер, 2003а. №57. С.3.
- Черноморец С.С. Особенности морфолитодинамики селевых очагов Центрального Кавказа после катастрофических селей. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. М., 2003б. 23 с.
- Черноморец С.С. Регенерация селевой массы // Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков. Материалы Международ. науч. техн. конф. (г. Пятигорск, 17-21 нояб. 2003 г.). Новочеркасск-Пятигорск, 2003в. Вып. 1. С.29-30.
- Черноморец С.С., Запорожченко Э.В. Из истории селевых конференций // Мелиорация и водное хозяйство, 2003. №6. С.44-46.
- Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Алейников А.А. Новые селеопасные озера у края ледника Башкара // Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата. Гляциологический симпозиум. Тезисы. Пущино, 2002. С.13-14.

- Черноморец С.С., Крыленко И.В., Крыленко И.Н. Эпикатастрофический лимногенез: Санибанское озеро после Геналдонской катастрофы 2002 года // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. III научно-практическая конференция. 22–23 октября 2003 г. Сборник материалов. М.: Центр "Антистихия", 2003а. С.95–96.
- Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Алейников А.А. Новые селеопасные озера у края ледника Башкара на Центральном Кавказе // Материалы гляциологических исследований, 2003б. Вып. 95. С.153–160.
- Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981. 232 с.
- Штебер Э.А. Ледниковые обвалы в истоках р. Геналдон на Кавказе // Терский сборник, Екатеринос. научное об-во, 1903. Т.II. №7. С.72–81.
- Шукин И. Исследования в Центральном Кавказе летом 1927 // Землеведение, 1928. Т.30. Вып. 3. С.3–38.
- Шукин И.С. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М.: Советская энциклопедия, 1980. 703 с.
- Эрозия почв и сели в Кабардино-Балкарии. Н.И. Маккавеев – ред. Нальчик: Эльбрус, 1970. 77 с.
- Alsford D.E., Smith L.C. Interferometric SAR observations of ice topography and velocity changes related to the 1996, Gjalp subglacial eruption, Iceland // International J. Remote Sensing. 1999. Vol. 20. No. 15–16. P.3031–3050.
- Browning J.M. A catastrophic rockslide at Mount Huaskaran, North Central Peru // Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 1973. Vol. 57. P.1335–1341.
- Crandell D.R. Postglacial lahars from Mount Ranier Volcano, Washington // U.S. Geological Survey Professional Paper, 1971. Vol. 677. 75 p.
- Cryospheric News: Snow and ice research and events in the news. October, 2002. <http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd>.
- Denali Fault Earthquake, M7.9. November 3, 2002. – <http://www.dggs.dnr.state.ak.us/earthquake.html>
- Dollfus O., Pecaherrera C. La destruction de Ranrahirca el 10 de enero de 1962 // Bolet. de la Soc. geogr. de Lima, 1962. No.79. P.3–18.
- Ericson J.M. Geological rate units // Compass, 1969. No. 47. P.5–9.
- Evans S.G., Clague J.J., Woodsworth G.J., Hungr O. The Pandemonium Creek rock avalanche, British Columbia // Can. Geotech. J., 1989. Vol. 26. P.427–446.
- Fischer A.G. Geologic time-distance rates: the Bubnoff unit // Bull. Geol. Soc. Am., 1969. No. 80. P.549–552.
- Frampton S., Chaffey J., Hardwick J., McNaught A. Natural Hazards. 2nd Edition. London, Hodder & Stoughton, 2002. 150 p.
- Global Warming Triggers Glacial Lakes Flood Threat. 2002. <http://www.grida.no/info/news/news02/news30.htm>
- Haeblerli W., Huggel C., Kääb A., Polkvoj A., Zotikov I., Osokin N. The Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002: an extraordinary event of historical dimensions

- in North Osetia (Russia) (Caucasus) // International Symposium on Snow and Avalanches. Davos, Switzerland, 2–6 June 2003. Abstracts accepted for presentation. <http://www.igsoc.org/symposium/2003/davos/abstracts.html>
- Hupp C.R., Osterkamp W.R., Thornton J.L. Dendrogeomorphic evidence and dating of recent debris flows on Mount Shasta, Northern California // U.S. Geological Survey Professional Paper, 1987. Vol. 1396-B. P.B1–B39.
- Janda R.J., Scott K.M., Nolan K.M., Martinson, H.A. Lahar movement, effects, and deposits in the 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington // U.S. Geological Survey Professional Paper, 1981. Vol. 1250. P.461–478.
- Jützold R. Luftbild. Die verschüttete Stadt Yungay, Peru // Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 102. Jahrgang 1971. Heft 2/3. S.108–117.
- Jonsson P., Snorrason A., Pallson S. Discharge and sediment transport in the jukuhlhuup on Skeiarsandur in November // EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1998. No. 79. P.514.
- Kääb A., Wessels R., Haeblerli W., Huggel C., Kargel J.S., Jodha Singh Khalsa S. Rapid ASTER Imaging Facilitates Timely Assessment of Glacier Hazards and Disasters // EOS, Transactions, American Geophysical Union, 2003. Vol. 84. No. 13. P.117;121.
- Katayose N. Disasters suffered (during the past twenty years) and measures against them // Japanese Railway Engineering, 1987. No. 123. P.21–24.
- Kerle N., van Wyk de Vries, B. The 1998 debris avalanche at Casita volcano, Nicaragua – investigation of structural deformation as the cause of slope instability using remote sensing // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 2001. Vol. 105. P.49–63.
- Kolka Glacier, Russia // Earth from Space. Johnson's Space Center, Houston, Texas, 2002. <http://www.jsc.nasa.gov/images/eol/2002/kolka.html>
- Mount Kazbek, Caucasus, Russia. 2002a. http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=10773
- Mount Kazbek, Russia. 2002 b. <http://www.jsc.nasa.gov/images/eol/kazbek.html>
- Osterkamp W.R., Hupp C.R., Blodgett J.C. Magnitude and frequency of debris flows, and areas of hazard on Mount Shasta, northern California // U.S. Geological Survey Professional Paper, 1986. Vol. 1396-C. 21 p.
- Rapp A., Nyberg R. Alpine in northern Scandinavia. Morphology and dating by lichenometry // Geogr. Ann., 1981. Vol. 63 A (3–4). P.183–196.
- Rodriguez A. 100 missing after Russian avalanche. Orlando Sentinel, September 22, 2002. [http://www.orlandosentinel.com/news/nationworld/orl-asecavalanche22092202sep22\(0,7557467\).story?coll=ori%2Dnews%2Dheadlines](http://www.orlandosentinel.com/news/nationworld/orl-asecavalanche22092202sep22(0,7557467).story?coll=ori%2Dnews%2Dheadlines)
- Shang Y. et al. A super-large landslide in Tibet in 2000: background, occurrence, disaster, and origin // Geomorphology, 2003. Vol. 54. P.225–243.
- Shöhl W. Die Katastrophe von Peru // Kosmos, 1970. No. 66. P.503–570.

- Truffer M., Crow P., Trabant D., March R. Effects of the M7.9 Denali Fault Earthquake on glaciers in the Alaska Range // *Eos Trans. AGU*, 83(47), 2002, Fall Meet. Suppl. Abstract S72F-1334 Poster.
- Tutubalina O., Chernomorets S., Paramonov D., Petrakov D. Remote sensing for glacial hazards monitoring in the Caucasus Mountains, Russia // *Proceedings of the 30th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Honolulu, Hawaii. November 10-14, 2003. 4 p. (CD-ROM).
- Zhou C.H., Yue Q.Z.Q., Lee C.F., Zhu B.Q., Wang Z.H. Satellite image analysis of a huge landslide at Yigong Tibet, China // *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. London: The Geological Society, 2001. Vol. 34. P.325-332.

SUMMARY

Sergey S. Chernomorets.

Origination sites of debris flow disasters: before and after

Debris flow disasters are one of the main denudation mechanisms in the mountains. They lead to radical changes in the terrain of valley floors. Central Caucasus is one of the Russian regions most exposed to debris flow action. The volume of disastrous debris flows in the Russian Republic of Kabardino-Balkariya reaches 6×10^6 cubic metres, and the volume of ice-water-rock flows in the Russian Republic of North Ossetia-Alania reached $130-140 \times 10^6$ cubic metres. This book reconstructs the principal stages of debris flow disasters for several Caucasian basins. A number of contemporary field monitoring techniques were used, including GPS mapping, satellite image processing, real-time observations of debris flows, along with more traditional approaches. The usefulness of high-resolution satellite imagery for debris flow research is demonstrated.

An original system of terms has been developed to characterise debris flow disasters, debris flow origination sites and the volume of transported material. A method for subdividing debris flow channels into lithodynamic zones has been elaborated. New terms are suggested, such as the volume multiplier coefficient of a debris flow during the disaster, integral debris flow activity, regeneration coefficient of a debris flow material.

A new concept of the cycle of the debris flow disaster formation is introduced. The cycle includes four stages: pre-disaster preparation, the disaster, epi-disaster (post-disaster) adaptation and inter-disaster evolution. It is demonstrated that considerable part of the debris flow material is transported not only at the disaster stage, but also at the preparation stage and during the first few years after the disaster.

Using the Gerkhozhan debris flow disaster (2000) as a case study, the author demonstrates that the transformation of debris flow origination sites at the epi-disaster adaptation stage are characterized by volumes of the transported material which are only a few times smaller than at the disaster stage. The main processes at the epi-disaster stage are: the degradation of ice-rock masses, regression of the bancs of debris flow channels, small debris flows and formation of new lakes. The inter-disaster evolution stage is characterised by the disappearance of ice masses involved into debris flow formation and by the decrease in steepness of slopes of the debris flow channels.

Further, the changes of terrain after the Genaldon glacial disaster (2002) in the Republic of North Ossetia-Alania are described. A special type of catastrophic flows, the ice-

water-rock debris flows of Huascaran-Kazbek type, is identified. It is shown that by volume and the way of movement of the transported material they differ significantly from ordinary debris flows

The book also presents results of detailed studies of the structure and morpholithodynamics of new pre-disaster and post-disaster lakes. The pre-disaster preparation stage of the contemporary retreating glaciers is characterised by the separation of masses of stagnant ice accompanied by formation of lake basins and flake-type sites, where the water for future debris flows is accumulated.

The author has developed a method to estimate the volume of debris flow material transported through every cross-section of the channel during the debris flow event. Volumes of debris flows at different stages the cycle of the debris flow disaster formation have been calculated and the integral debris flow activity has been estimated for the case study areas.

The book is intended for geographers, geologists, local authorities in the regions influenced by debris flows and for university students.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ КНИГИ

С.С. Черноморец. Селевые очаги до и после катастроф

Катастрофические сели являются одним из главных агентов денудации в горах и приводят к кардинальным изменениям в морфологии днщ горных долин. Одним из наиболее подверженных воздействию селей регионов России является Центральный Кавказ. Объем катастрофических грязекаменных селей в Кабардино-Балкарии доходит до 6 млн. м³, а объем ледово-водно-каменных селей в Северной Осетии достигал 130-140 млн. м³. В монографии восстановлены основные события селевых катастроф в нескольких бассейнах. В исследованиях применен комплекс современных методов мониторинга, наряду с традиционными элементами включающий полевое картографирование с помощью спутникового позиционирования, использование космических материалов, наблюдения селевых процессов в реальном времени. Показана перспективность применения космических снимков высокого разрешения для исследования селевых объектов.

Разработана система понятий, характеризующих катастрофические сели, селевые очаги и объемы перемещенных масс. Разработана схема деления селевых русел на литодинамические зоны. Предложены новые показатели — коэффициент мультипликативности селевой катастрофы, интегральная селеактивность, коэффициент регенерации селевого материала.

Изучено понятие цикла катастрофического селеформирования, состоящего из 4 стадий — предкатастрофической подготовки, селевой катастрофы, эпикатастрофической адаптации и межкастрофической эволюции. Показано, что значительная часть материала перемещается не только в процессе самой катастрофы, а в период подготовки и в первые годы после схода катастрофического селя.

На примере Герхожанской селевой катастрофы 2000 г. выявлено, что 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. Стадия межкастрофической эволюции характеризуется исчезновением массивов льда, участвующих в селеобразовании, и выполаживанием поперечного профиля.

Показана динамика рельефа после Геналдонской гляциальной катастрофы 2002 г. в Северной Осетии. Ледово-водно-каменные сели Уаскаранско-Казбекского типа являются особым типом катастрофических потоков, объемы и тип движения которых существенно отличаются от "обычных" селей.

Автором детально исследованы строение и морфолитодинамика новых предкатастрофических и эпикатастрофических озер. 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.

Разработан способ расчетов объема селевой массы, прошедшего через каждое сечение русла в течение всего селя. Проведены расчеты объемов селей на разных стадиях, сделаны оценки интегральной селеактивности.

Монография рассчитана на специалистов по географии, геологии, руководителей органов власти селеопасных районов, студентов высших учебных заведений.

Научное издание

*Черноморец
Сергей Семенович*

СЕЛЕВЫЕ ОЧАГИ ДО И ПОСЛЕ КАТАСТРОФ

«Научный мир»

Тел./факс (007) (095) 291-2847

E-mail: naumir@ben.irex.ru. Internet: http://195.178.196.201/N_M/n_m.htm

Лицензия ИД № 03221 от 10.11.2000

Подписано к печати 1.10.2001.

Формат 70х100/16.

Гарнитура Тайме. Печать офсетная. Печ. л. 12,5. Усл. печ. л. 16,25.

Тираж 500 экз. Заказ № 507.

Отпечатано в ОАО «Московская типография № 6»

115088, Москва, Южнопортовая ул., 24



Сергей Семенович Черноморец – геоморфолог, кандидат географических наук.

В 1988 году окончил Московский университет. Изучал последствия крупнейших природных катастроф последних лет на Кавказе – Герхожанской в Кабардино-Балкарии и Геналдонской в Северной Осетии, а также занимался мониторингом состояния селевых очагов в других долинах.

Отсутствие исследований изменений рельефа после селевых катастроф нередко приводило к тому, что подготовка к очередному экстремальному событию оставалась незамеченной, и катастрофа снова происходила неожиданно. В монографии разработана концепция четырехстадийных циклов катастрофического селеформирования. Показано, что в первые годы после катастрофического события происходят очень значительные преобразования очагов, при которых перемещается большое количество рыхлого материала. Разработан способ расчетов объема селевой массы, прошедшей через каждое сечение русла в течение всего селя. Выявлены особенности катастрофических ледово-водно-каменных селей по сравнению с другими типами селевых потоков.