

На правах рукописи

Зимницкий Андрей Вячеславович

**ФОРМИРОВАНИЕ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ДИНАМИКА
ПРИЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОГО
И ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА
(в границах России)**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Специальность 25.00.25 – Геоморфология
и эволюционная география

Краснодар 2005

Работа выполнена на кафедре геологии и геоморфологии географического факультета Кубанского государственного университета

Научный руководитель: доктор географических наук,
профессор Ю.В. Ефремов

Официальные оппоненты: доктор географических наук
В.Д. Панов;
кандидат географических наук,
А.М. Керимов

Ведущая организация: Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик

Защита состоится 21 июня 2005 г. в часов на заседании диссертационного совета К 212.101.02 по экономической географии, геоморфологии и эволюционной географии при Кубанском госуниверситете по адресу: 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, ауд. 231.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КубГУ по адресу: 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

Автореферат разослан « 18 » мая 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доцент, кандидат
географических наук

С.А. Шатилов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение приледниковых озер вызвано участвовавшими в последнее десятилетие природными катастрофами на Большом Кавказе (обрушения и подвижки ледников, гляциальные сели, прорывы приледниковых водоемов). Многие из них причинили значительный ущерб хозяйственным и рекреационным объектам, а также повлекли человеческие жертвы. Поэтому возникла необходимость детального изучения современных геоморфологических процессов в нивально-гляциальном поясе Большого Кавказа. Необходимо разработка новых и совершенствование существующих методик прогнозирования опасных природных явлений, вызванных процессами в ледниковых системах.

Общепризнанным является факт глобального сокращения гляциосферы, вызванный потеплением климата, отмеченного в двадцатом веке и продолжающегося в настоящее время. При сокращении современного оледенения значительно возросла интенсивность селевых процессов. Приледниковые озера, широко распространенные на Западном и Центральном Кавказе, справедливо рассматриваются как один из источников формирования гляциальных селей. Такие водоемы – динамичные образования, морфометрические характеристики которых могут меняться из года в год. Существующие традиционные методики и подходы к решению проблемы определения механизмов прорыва не позволяют в полной мере использовать весь имеющийся материал для прогнозирования прорывоопасных приледниковых озер. Поэтому актуальна проблема исследования механизмов прорыва приледниковых водоемов. В результате многолетних исследований горных озер накоплен методический опыт проведения подобных работ, собрано большое количество фактического материала, который требует обобщения и систематизации. Однако на Большом Кавказе отсутствуют за малым исключением детальные работы по приледниковым озерам, механизмы прорыва потенциально опасных приледниковых озер оставались нераскрытыми. Данная работа призвана расширить и дополнить существующие представления о развитии приледниковых озер на Большом Кавказе.

Объектом исследования выступают водоемы, образование которых датируется окончанием Малой ледниковой эпохи – немногим более 100 лет назад. К приледниковым озерам отнесены водоемы с замедленным водообменом, проточные или бессточные, сформировавшиеся после окончания Малой ледниковой эпохи (стадии Фернау), которые имеют питание преимущественно ледникового типа и ограничены запрудной плотиной. В зависимости от характера запруды выделяются различные генетические виды приледниковых озер.

Цель работы заключается в изучении условий, факторов и механизмов формирования и развития приледниковых озер на Западном и Центральном Кавказе для построения моделей прорыва потенциальных прорывоопасных водоемов.

Основными задачами исследования являются:

1) Предварительная инвентаризация, ретроспективный анализ и обобщение имеющихся материалов по приледниковым озерам исследуемого района,

систематизация накопленных данных по морфометрии, морфологии и генезису обследованных водоемов;

2) Геоинформационное картографирование эталонных приледниковых озер по материалам топографических карт, АФС, результатов полевых работ;

3) Анализ условий, факторов и процессов формирования озерных котловин;

4) Оценка современного состояния моренно-ледниковых комплексов и приледниковых озер с определением степени их прорывоопасности;

5) Изучение возможных механизмов прорыва приледниковых водоемов с определением и расчетом критических характеристик;

6) Разработка концепции и структуры региональной геоинформационной системы «Ледниковые озера Большого Кавказа» для реализации мониторинга потенциально опасных объектов и моделирования прорывов приледниковых озер.

Научная новизна заключается в использовании морфолитогенетического подхода в изучении механизмов прорыва приледниковых водоемов в сочетании применением методики геоинформационного картографирования. Кроме того:

1) получены новые сведения о современных приледниковых озерах на северном склоне Западного и Центрального Кавказа в границах России, их количестве, морфометрических характеристиках, также приводится оценка прорывоопасности отдельных водоемов;

2) выявлены основные закономерности формирования озерных котловин и установлены особенности развития озерного морфолитогенеза приледниковых озер на Большом Кавказе;

3) дополнена генетическая классификация приледниковых озер для исследуемой территории;

4) впервые приводится сравнительная характеристика различных генетических типов приледниковых озер на основании выполненных полевых работ в комплексных гляциологических экспедициях 2001-2004 гг.

5) впервые приведены расчеты критических параметров озер при возможном прорыве, а также определены характеристики паводковой волны при прохождении гляциального селея.

6) разработана структура региональной ГИС «Горные озера Большого Кавказа» на примере участка долины р. Баксан с эталонными приледниковыми озерами.

На защиту выносятся следующие положения:

1) особенности распространения приледниковых озер на Западном и Центральном Кавказе в границах России;

2) структурно-функциональная схема формирования приледниковых озер на исследуемой территории;

3) генетические особенности озерных котловин исследуемых водоемов;

4) механизмы прорыва приледниковых озер с различными типами запрудных плотин;

5) модель прорыва приледникового озера Азау на основании гидрометеорологических расчетов и использования цифровых моделей рельефа; 6) структура проекта региональной ГИС «Горные озера Большого Кавказа».

Практическая значимость. Результаты, полученные в ходе комплексных гляциологических экспедиций 2001-2004 гг., положены в основу научных отчетов по исследуемым озерам и потенциально опасным ледникам. Отчеты, направленные в СК ГМЦ (Ростов-на-Дону) и ВГИ (Нальчик), Кабардино - Балкарский гидрометеоцентр используются при разработке мероприятий по снижению риска, связанного с ледниковыми катастрофами. Данные по морфометрии и морфологии изученных водоемов наряду с ретроспективными материалами включены в создаваемую базу данных (на основе СУБД Access с поддержкой SQL для ГИС «Панорама»). Методики, изложенные в диссертационной работе (геоинформационное картографирование приледниковых озер краевых частей ледников и моренно-ледниковых комплексов), использованы в рамках учебной программы курса «географическое картографирование» на кафедре ГИС географического факультета КубГУ.

Фактический материал. В основу диссертации положены результаты лимнологического и гляциологического и геоморфологического исследований автора, полученные в ходе полевых работ в период 1998-2004 гг., который в течение всего периода активно участвовал в комплексных экспедициях, организованных кафедрой геологии и геоморфологии Кубанского государственного университета. В диссертационной работе использованы материалы:

– отчета НИР «Исследование условий формирования и прорыва приледниковых и гравитационных озер Большого Кавказа» (руководитель проекта Ю.В. Ефремов) по гранту РФФИ № 03-05-96709 («Р 2003-Юг»), участником работ и соавтором отчета которого автор диссертации являлся в 2003-2004 гг.,

– отчета НИР «Современные ледниковые катастрофы на Большом Кавказе: возникновение, распространение, прогноз» по гранту КЦФЕ для поддержки аспирантов высших учебных заведений Минобразования (№ А03-2.13-274), по которому автор диссертации являлся руководителем работ.

При картографических построениях использованы топографические карты масштаба 1:25 000 – 1:200 000 различных годов издания, схемы и результаты дешифрирования аэрофотоснимков, космических снимков, полученных из сети Интернет и из Госцентра «Природа». Весь иллюстративный материал (компьютерная графика) создан по результатам обработки АФС, картографических материалов в ГИС «Панорама», ГИС «Нева», а также по данным тахеометрических и батиметрических съемок, обработанных в геодезических пакетах ГИС-приложений, а также в пакете Surfer.

Апробация работы. Основные теоретические положения и практические результаты, содержащиеся в диссертации, докладывались и обсуждались на XV и XVII Межреспубликанских научно-практических конференциях «Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий» (Краснодар, 2002, 2004 гг.), на I региональной научно-практической конференции «Экономика Северо-Кавказского региона на пути к устойчивому развитию в рыночных условиях» (Краснодар, ИМСИТ, 2003 г).

Результаты полевых исследований обсуждены и опубликованы в сборниках материалов научно-практической конференции «Итоги гляциогидрометеорологических наблюдений...» (Теберда, 2003 г), XIII Гляциологического Симпозиума (Санкт-Петербург, 2004), а также Международной конференции «Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных регионах» (Владикавказ, 2004). Методические и теоретические аспекты диссертационной работы обсуждены и опубликованы в материалах Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии» (Минск, 2003 г), в сборнике XIII Международного научно-методического семинара «Новые направления географических и картографических исследований в учебных заведениях стран СНГ» (Харьков, 2004 г).

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 12 работ (в том числе 1 публикация на английском языке), включая 5 публикаций в соавторстве.

Структура работы. Работа состоит из «Введения», 5-ти глав, «Заключения», библиографического списка, 5-ти приложений. Объем диссертации составляет 170 страниц. Диссертация иллюстрирована 26 рисунками, содержит 21 таблицу. Список литературы представлен 132 названиями.

Автор выражает глубокую искреннюю признательность научному руководителю, д.г.н., проф. Ю.В. Ефремову за многочисленные рекомендации и советы при работе над диссертацией. Также автор выражает благодарность ведущему специалисту отдела ВГИ СК ГМЦ к.г.н. Ю.Г. Ильичеву за содержательные рекомендации, замечания и советы в ходе написания рукописи. Организации и проведению комплексных экспедиций 2002-2004 гг. активно содействовали начальник Кабардино-Балкарского ГМЦ Е.М. Богаченко, начальник гидрографической партии Г.И. Иванов, заведующий отделом географии при Президиуме Кабардино-Балкарского НЦ РАН, к.г.н А.М. Керимов. Им автор выражает свою признательность и благодарность.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 приводится обзор истории исследований приледниковых озер, освещен вопрос дефиниции термина «приледниковое озеро», описана методика исследований. Наряду с достаточно хорошей общей изученностью горных озер Большого Кавказа приледниковые водоемы из-за удаленности и труднодоступности оставались малоизученными. В последние годы интерес к их исследованиям возрос, что нашло отражение в ряде публикаций с участием автора диссертации. Успешное решение поставленных задач определяется современной методикой исследований, которая основана на применении геоинформационных технологий. Инструментальные съемки основаны на «Руководстве по наблюдениям на горных ледниках» – РД 52.25.315-92. Морфометрические характеристики плотинных участков определены из инструментальных съемок, а также по крупномасштабным топографическим картам. Генетические типы озерных котловин определены при полевых исследованиях и путем дешифрирования аэрофотоснимков. По результатам полевых наблюдений, а также из

анализа разновременных аэрофотоснимков и картографических схем установлено, что уровни приледниковых озер, их площади и контуры береговой линии изменяются по годам и сезонам.

Глава 2. На сегодняшний день с учетом имеющихся данных на Западном и Центральном Кавказе (в границах России) учтено 103 приледниковых озера. Множество мелких эфемерных озер, существование которых ограничено одним сезоном, нами не учитывалось. Большинство водоемов (58,7 %) имеет площадь менее 5000 м². Наиболее крупные по площади приледниковые озера: Сылтранкель (около 162,5 тыс. м²), Донгузорункель (более 105 тыс. м²), Башкара (66,5 тыс. м²), Махар (75 тыс. м²) и др. Глубина озер изменяется в значительных пределах: в среднем от 1,5-15 м до 25-30 м..

Распределение озерных водоемов и их площадей по речным бассейнам крайне неравномерно, что объясняется исключительным разнообразием природных факторов, влияющих на формирование озер рассматриваемой территории – климата, рельефа, геологического строения. Наибольшее их количество сосредоточено в бассейне рек Баксан и Теберда (рис. 1).

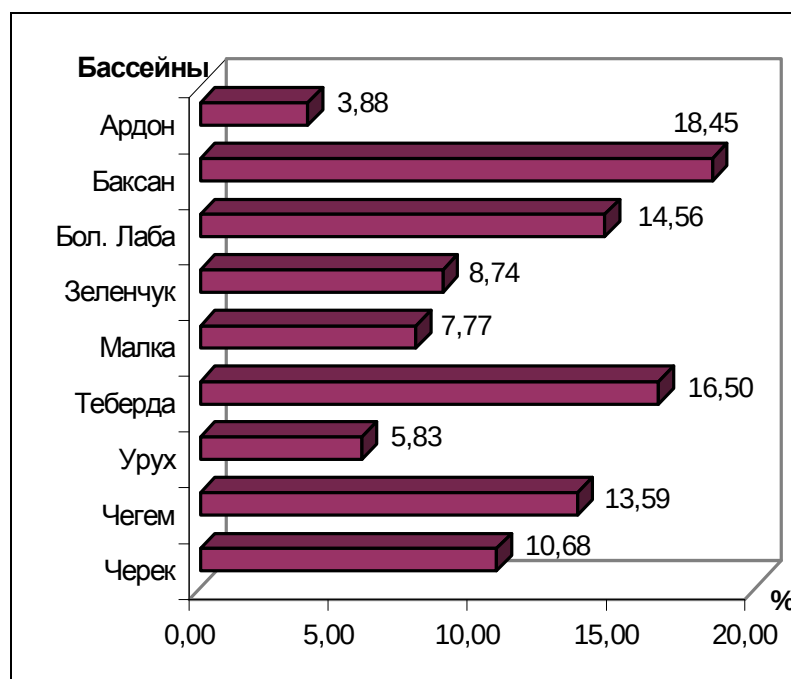
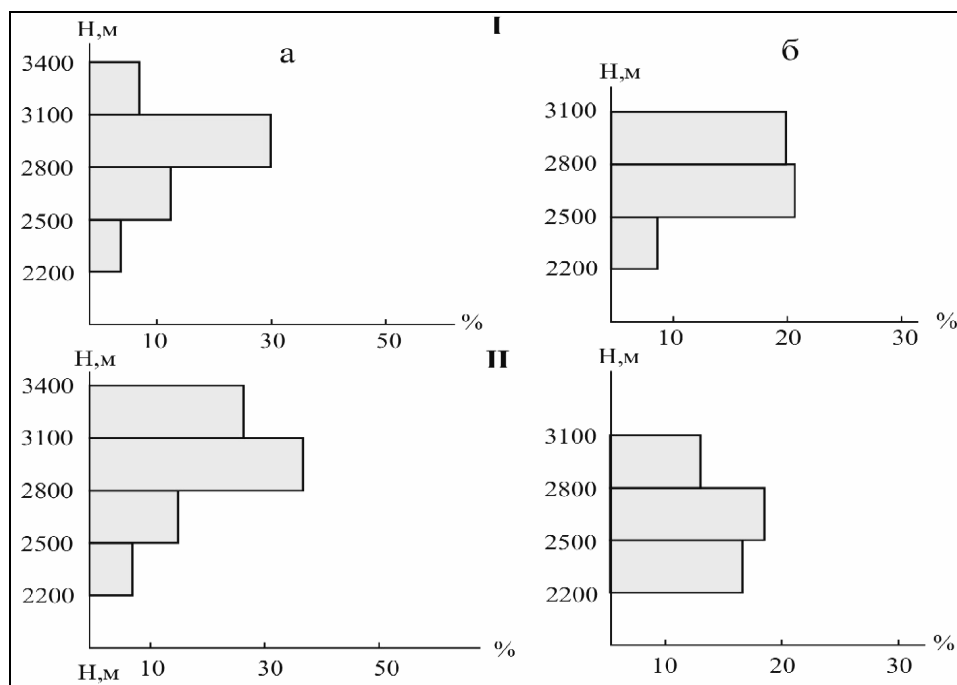


Рисунок 1 – Распределение приледниковых озер по основным речным бассейнам

На Северном склоне Большого Кавказа количество озер, примерно в 3 раза больше, чем на южном склоне. Основная причина такого различия заключается в геоморфологических особенностях данного региона и различной мощности древнего и современного оледенений. Для северного склона характерны более пологие и протяженные склоны, а для южного – более крутые и сильно расчлененные. Для северного склона также характерны следы более значительного древнего и развитие современного оледенения. По данным В.Д. Панова, количество ледников на северном склоне равно 1446, а

их площадь составляет 975,03 км², а на южном склоне – 576,00 и 431,76 км² соответственно (Панов, 1993).

Распределение озер по высотным интервалам на Большом Кавказе также имеет свои особенности (рис 2). Здесь число озер и их общая площадь уменьшаются с увеличением абсолютной высоты. Такое распределение водоемов по высотным уровням соответствует общей концепции выделения озерных поясов (Ефремов, 1984, 2003).



I – Западный Кавказ; II – Центральный Кавказ;
а – северный макросклон, б – южный макросклон

Рисунок 2 – Распределение приледниковых озер по высотным зонам

Верхний ярус, расположенный в интервале 3100-3400 м занимают наледниковые озера (у ледников Кундюм-Мижирги, Безенги, Шхельды), а также моренно-запрудные латеральные (озеро Азау). В процентном отношении их количество составляет 18 % от общего числа приледниковых озер изучаемого района.

Форма озерной котловины играет важную роль в жизни озера. Она не только определяет площадь и конфигурацию озера, его максимальную и среднюю глубину, объем водной массы, но и влияет на происходящие в озере процессы. С размерами и формой озерных котловин связано распределение температуры, а также амплитуда и характер колебаний уровня водоемов. С изменением формы котловины меняются гидрологический и термический режимы озер (Муравейский, 1960).

Для характеристики конфигурации водоемов в плане в работе использовались показатели, широко применяемые в лимнологии (Григорьев, 1959). Показатель удлиненности или вытянутости ($K_{удл}$), определяемый как отношение длины озера к его средней ширине (a/b_{cp}); показатель компактности ($K_{комп}$), оп-

ределяемый как отношение средней ширины озера к максимальной (b_{cp}/b_{max}); показатель развития береговой линии ($K_{берег}$) – отношение длины береговой линии (L) к длине окружности (C) равновеликого по площади озера круга. К морфометрическим показателям, характеризующим форму озерных водоемов по вертикали, относятся наибольшая (h_{max}) и средняя (h_{cp}) глубина, показатель открытости (f/h_{cp}) – отношение площади водоема к средней глубине, показатель емкости ($C_1=h_{cp}/h_{max}$) – отношение средней глубины к максимальной (табл. 1).

Таблица 1 – Морфометрические характеристики эталонных приледниковых озер Центрального Кавказа

	Донгузорункель	Азау	Башкара	Лапа (фронтальное Башкаринское)
H абс. м	2515,0	3264,0	2568,0	2486,0
f , тыс. м ²	105,0	20,0	66,0	10,2
a_{max} , м	689,1	201,3	370,0	120,0
b_{max} , м	320,4	136,1	260,0	100,0
b_{cp} , м	154,6	100,2	185,0	65,0
V , тыс. м ³	465,0	70,3	1207,0	66,5
L , м	1594,7	553,3	1013,4	384,2
$K_{вдсб}$	164,9	115,3	135,9	314,2
$K_{удл}$	10,3	5,5	5,4	1,8
$K_{комп}$	0,5	0,7	0,7	0,65
$K_{берег}$	0,39	0,31	0,31	0,30
h_{max}	15,0	8,0	34,4	12,0
h_{cp}	4,5	3,5	14,8	2,5
C_1	0,3	0,4	0,4	0,2
C_2	0,09	0,13	0,37	0,11

В главе 3 рассмотрены условия и факторы формирования приледниковых озер на основе теории озерного морфолитогенеза (Ефремов, 2003). Одной из главных задач является детализация процессов и механизмов образования приледниковых озер с акцентированием внимания на факторах образования запрудных плотин и механизмах прорыва приледниковых озер. Согласно теории озерного морфолитогенеза (ОМЛГ), формирование озерных котловин происходит в относительно стабильных природных условиях высокогорья (нивально-гляциальный пояс и пояс древнеледниковых форм рельефа) под действием движущих сил – факторов. Изменение природных условий, в которых развивается водоем, приводит к значительному изменению процессов и факторов в формирующейся озерной котловине, определяет интенсивность осадконакопления и степень «зрелости» озерного водоема. Условия выступают как нечто устойчивое и постоянное, они определяют все дальнейшие стадии развития приледникового озера.

Природные условия являются тем фоном, при котором образуются и развиваются озерные водоемы. К числу важнейших условий формирования отне-

сены: морфолитологические, морфолитодинамические, климатические, оледенение. В диссертации подробно проанализированы эти условия и факторы, стимулирующие геоморфологические процессы, результаты анализа выражены в структурно-функциональных зависимостях (рис. 3). Генетические разновидности приледниковых озер зависят от механизмов формирования запрудных плотин, к числу которых относятся: подпруживание ледникового стока ледником, мореной (конечной, береговой, с ледяным ядром или без него), лавинным или селевым конусом выноса, ригелем. Для изучаемой территории выделено 7 видов приледниковых озер различного происхождения.

Каровые приледниковые озера, плотина которых представлена ригелем. Материал, его слагающий, как правило, представлен устойчивыми к размыву породами. Часто встречаются приледниковые озера, плотина которых имеет смешанное происхождение. Так, выделяется отдельная группа приледниковых карово-моренных озер, в которых роль запруды выполняет отложенная береговая или конечная морена, перекрывающая ригель (озера Азау, Сылтранкель).

Ледниково-запрудные (плотина представляет собой край питающего ледника или в случае наступания ледника соседней долины). Озера этой группы чаще всего образуются в карманах между береговой мореной и ледником, за счет интенсивного таяния последнего вследствие тепловой отдачи с прогреваемой морены. Примером является озеро Башкара – латеральный ледниково-запрудный водоем. Также ледниково-запрудные озера образуются в случае быстрой подвижки ледника вниз по долине, причем происходит подпруживание не только ледникового стока, но и стока речного (Санибанское озеро – результат запрудивания долины р. Кауридон в месте слияния с р. Фардон ледово-каменными завалами ледника Колка).

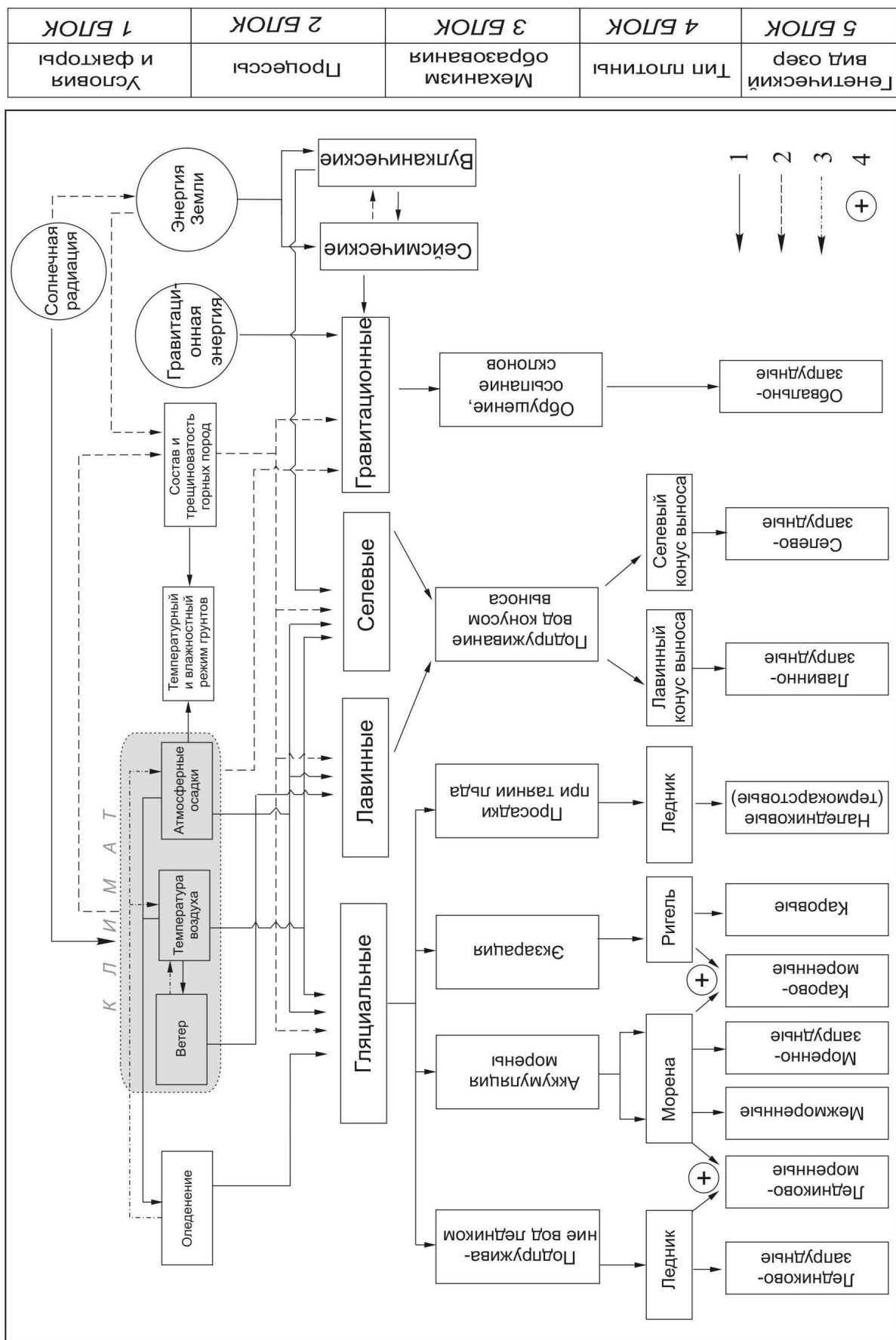
Моренно-запрудные – наиболее многочисленная группа водоемов, пояс распространения которой имеет наибольший высотный диапазон. Образуются за счет подпруживания талого ледникового стока рыхлообломочным несортированным материалом стадияльных морен. Эталонным видом является озеро Донгузорункель, подпруженное активной мореной наступающего ледника Чегет-Кара.

Межморенные рассматриваются как частный случай моренно-запрудных (плотину образуют морены двух ледников соседних долин или как результат неравномерного отложения стадияльных морен одного ледника).

Наледниковые (котловина образована процессами термокарста и термоабразии на поверхности ледника, плотина как объект блокирования стока отсутствует). Группа многочисленных озер, часто эфемерных, образующихся вследствие неравномерного отложения поверхностной морены на леднике и в зонах напряжений течения льда.

Селево-запрудные (плотина образуется в результате отложения селевого материала при прохождении паводка в соседней долине или в случае схода селя со склонов в долину реки). Практически ежегодно селевые процессы отмечаются в долинах Шхельды, Мижирги, Адылсу и др.)

Лавинно-запрудные (плотина образуется в результате отложения лавинного материала при подпруживании конусом выноса лавины ледникового стока



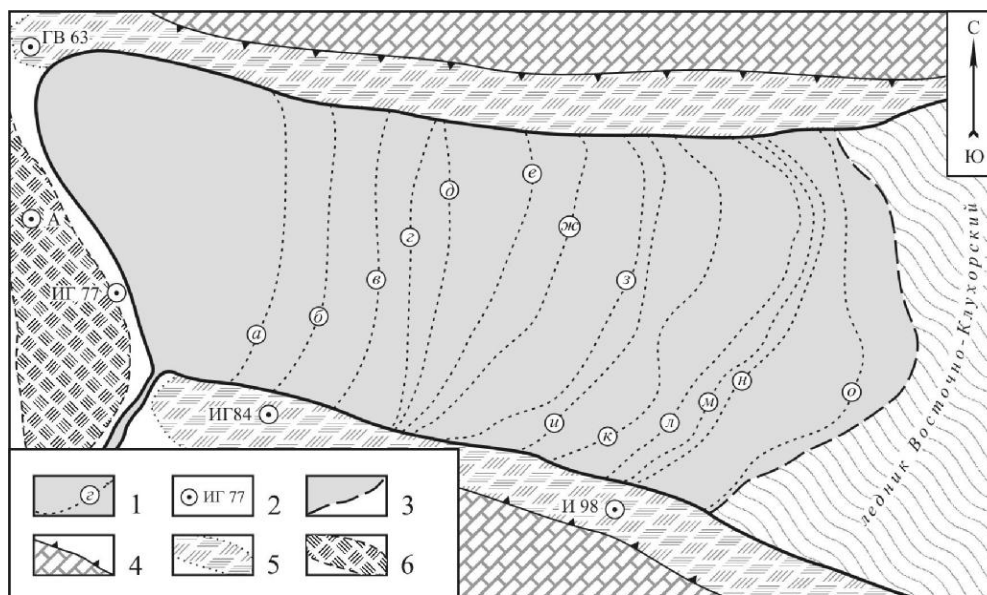
Связи: 1 - прямые; 2 - обратные; 3 - косвенные; 4 - совместное действие элементов
 Рисунок 3 – Структурно-функциональная схема формирования приледниковых озер

чаще всего происходит в верхних участках троговых долин с крутыми склонами).

В главе 4 раскрываются изменения морфометрических и морфологических характеристик озер под воздействием современных природных процессов. Такие изменения могут происходить постепенно, а иногда катастрофически быстро (прорывы озер, обрушения льда в акваторию и др.). В этом случае данные о генезисе плотины приледникового водоема косвенно свидетельствуют о потенциальной возможности прорыва озера.

Существующая озерная котловина может активно изменяться в результате экзогенных процессов: карста и суффозии, таяния и просадок льда на дне котловины, а также в результате процессов лавинного или гравитационного воздействия. В результате многие озера претерпевают значительные изменения, т. е. увеличиваются или уменьшаются в размерах, изменяется их объем и формы. Так образуются провалы и поднятия в пределах акваторий приледниковых озер полностью или частично сформированных во льду.

Трансгрессивная фаза эволюции приледниковых озер характеризуется заполнением чаши талыми водами с постепенным повышением уровня воды, увеличением площади и глубины водоема. Фаза активного роста и изменения конфигурации характерна для многих приледниковых озер изучаемого района на примере Восточно-Клухорского озера (рис. 4).



1 – положение береговой линии озера по годам (а - 1955; б - 1958; в - 1960; г - 1963; д - 1965; е - 1970; ж - 1977; з - 1980; и - 1983; к - 1985; л - 1990; м - 1994; н - 1995; о - 1998); 2 – реперы съемочного обоснования и их маркировка; 3 – граница языка ледника в 2000 г.; 4 – коренной склон; 5 – береговые морены; 6 – конечная морена

Рисунок 4 – Изменение контуров языка Восточно-Клухорского ледника и береговой линии Клухорского озера

Изменения озерной котловины особенно четко проявляются на эталонных озерах Азау, Башкара и краевых башкаринских. По материалам

дешифрирования АФС, на основании собственных инструментальных съемок, а также по имеющимся материалам отчетов установлены границы изменения береговой линии башкаринских озер (рис. 5). Трансгрессивные и регрессивные фазы развития озер, связанные с катастрофическими подвижками ледников рассматриваются в работе на примере Геналдонской катастрофы. В результате выброса ледово-каменных масс по долине образовалось более десятка приледниковых озер различного генезиса. В настоящее время наибольший интерес представляет Санибанское озеро, которое прошло несколько стадий эволюции.

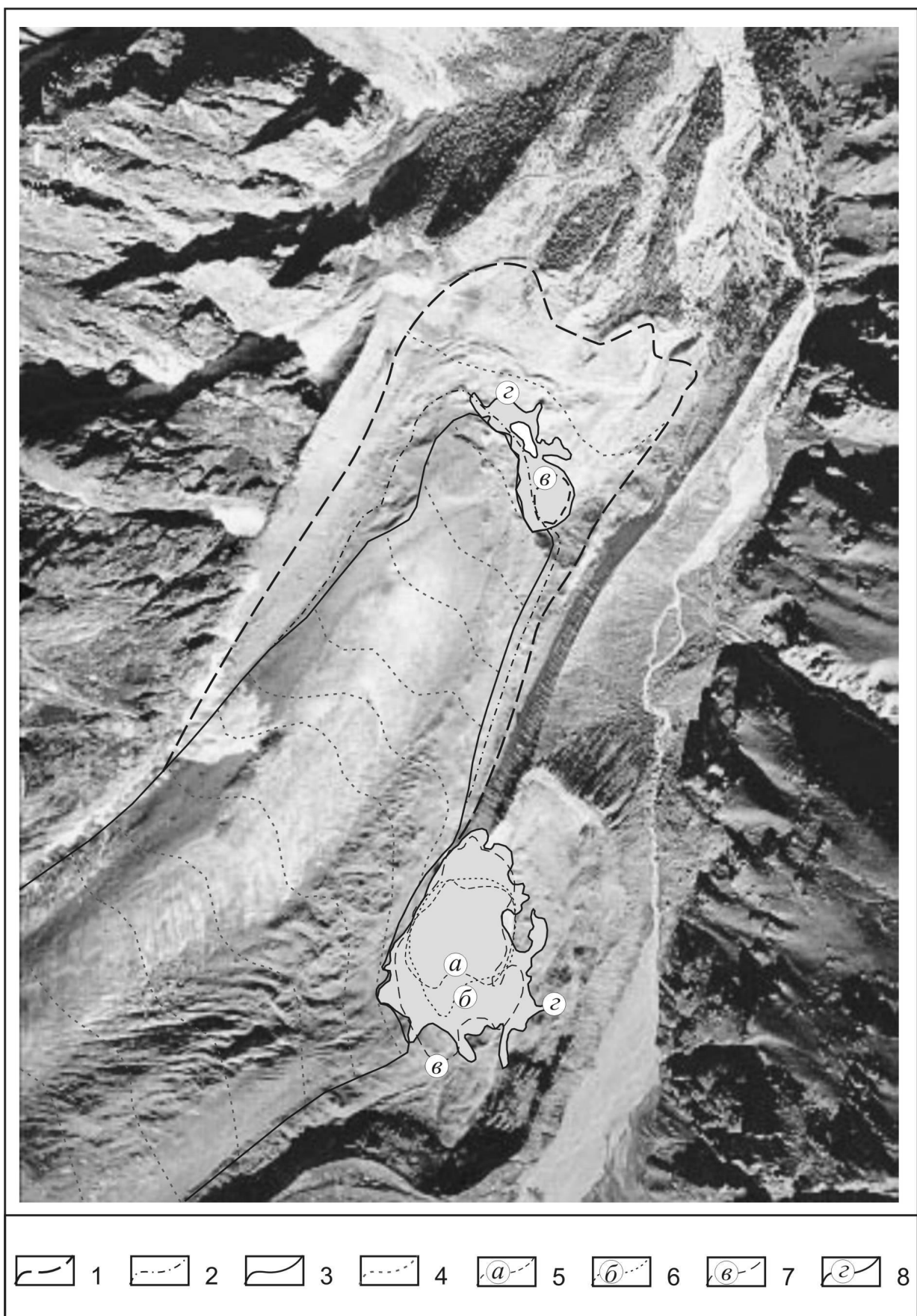
Регрессивная фаза развития современных приледниковых озер связана с процессами их деградации, в результате которых размеры озер и объем водной массы сокращаются. Интенсивность деградации приледниковых озер зависит напрямую от ледникового стока, гидрологического режима водоема, морфологических особенностей котловины, от направленности и скорости современных экзогенных процессов (частота схода лавин и селей, осыпи и обрушения и др.).

Приледниковые озера, имеющие постоянный сток, быстрее заполняются терригенными осадками и значительно реже зарастают по сравнению с непроточными озерами. Сокращение многих приледниковых водоемов а иногда их полное исчезновение происходит быстро особенно при прорве запрудной плотины. Главный агент постепенного уничтожения озер – интенсивная аккумуляция, т. е. заполнение котловины аллювиальными, флювиогляциальными, пролювиальными отложениями, Ярким примером деградации приледникового озера является озеро Донгузорункель в Приэльбрусье, которое за счет постоянного поступления терригенных осадков (взвешенные речные наносы, аллювий, осыпи с морены ледника Чегеткара) постепенно деградирует.

В ходе собственных исследований, а также на основе опубликованных материалов (Ефремов, Ананьева, 1997) в общих чертах охарактеризованы процессы осадконакопления и состав донных отложений для ледниково-запрудных озер. Скорость осадконакопления в них сравнительно велика и по данным радиоуглеродного анализа изменилась в период голоцена от 0,1 до 0,53 мм/год, а в некоторых водоемах это значение еще выше. Следовательно накопление отложений и образование микроформ рельефа (террасы, косы, гряды, дельтовые конусы и др.) происходит по геологическим меркам очень быстро, в пределах нескольких десятков, сотен, реже тысяч лет.

Полученные материалы экспедиционных работ позволяют раскрыть некоторые аспекты механизмов прорыва приледниковых озер различного генезиса. Различные механизмы прорыва зависят от: состава материала плотинных участков, местоположения водоемов, объема озерных вод, состава, структуры и местонахождения ледовых масс основного ледника, физических и топографических особенностей приозерных участков.

Механизмы прорыва различны на озерах, подпруженных ледником, мореной, мореной с ледяным ядром, скальным ригелем. В случае подпруживания ледником прорыв может происходить двумя способами:



Границы ледника: 1 – 1965 г.; 2 – 1987 г.; 3 – 2003 г.; 4 – изолинии.
Береговая линия озер: 5 – 1965 г.; 6 – 1980 г.; 7 – 1988 г.; 8 – 2003 г.

Рисунок 5 – Изменение береговой линии Башкаринских озер

переливом через ледниковую запруду или по внутриледниковым каналам стока. Таким способом прорываются многие озера в Гималаях (Ives, 1986), на Аляске (Stone, 1963).

Моренные запрудные озера опорожняются в результате быстрого разрушения плотины из-за активного проявления термокарста, таяния ледяного ядра плотины, подморенной абляции и эрозии. В этом случае развиваются сдвиговые селевые процессы, детально описанные Ю.Б. Виноградовым (1977, 1981). Основные факторы, влияющие на возможность их развития – характер и мощность рыхлообломочного материала, уклон, условия водообмена. Непосредственной причиной прорыва и возникновения селя являются случайные изменения внутриморенных каналов стока.

Для оценки прорывоопасности приледниковых озер применяются расчеты гидрографа стока, с помощью которого определяются максимальные расходы и объемы воды при прорывном паводке. Одним из ключевых моментов при этом является наличие ряда натурных наблюдений за суточными расходами в створах на входе в приледниковое озеро и на выходе из него. Практически такие данные на эталонных приледниковых озерах получить сложно в силу различных преград природного и экономического характера. Обзор различных аналитических методик определения гидрографа стока дает представление о сложности способов определения производных уравнений расходов воды при прорывном паводке.

По материалам Ю.Б. Виноградова (1984), с использованием данных наблюдений Э.Д. Багова, С.С. Черноморца и др. (2003), а также на основе собственных данных можно с известной долей приближения количественно оценить степень прорывоопасности приледниковых озер Башкара и Азау на основе аппроксимированных математических моделей. Так, критическим значением объема для озера Азау будет превышение современного уровня на 0,75 м, что в пересчете на количество водной массы дает более 20000 м³. Расчеты по формулам Ю.Б. Виноградова показывают для озера Башкара значение критического объема, при котором может наступить прорыв ледниково-запрудной плотины – более 5 млн. м³. Однако в этой модели не учитывается поверхностная и подморенная абляция, а также движение самого ледника, подпруживающего озеро, и ряд других ограничений. Очевидно, что реальное критическое значение будет иметь величину более низкую, однако однозначное выражение модели взаимодействия моренно-ледникового комплекса и приледникового озера на фоне изменяющихся гидрометеорологических условий представляет математически сложную задачу.

Глава 5. В настоящее время продолжением гляциологических и геоморфологических исследований выступает разработка разного уровня географических информационных систем (ГИС). В данной работе ГИС-технологии выступают как средство управления разновременными картографическими данными, выполняется их синтез, имеющиеся разнородные материалы унифицируются, преобразуются к единому формату представления для дальнейшего обновления банка данных по инвентаризованным водоемам. Основными предпосылками

для разработки проекта создания региональной ГИС по горным озерам Большого Кавказа явились следующие:

- большой объем накопленных разнородных фактических материалов, (схем, графиков, диаграмм, профилей, таблиц и др.);
- результаты разработок программного ГИС-обеспечения для анализа и управления пространственно распределенными данными, в том числе с возможностью их обновления на основе материалов ДЗЗ и наземных съемок;
- необходимость мониторинга за прорывоопасными приледниковыми водоемами в селеопасных бассейнах на Западном и Центральном Кавказе;
- создание цифровых моделей рельефа на эталонные участки, содержащие приледниковые озера и моренно-ледниковые комплексы для моделирования эволюции развития озерных котловин и построения моделей прорыва.

При решении гляциологических, геоморфологических задач важное значение имеет детальная передача морфологических особенностей краевой части ледника и, в частности, плотины, подпруживающей озеро. Изучение этих свойств в ГИС-приложениях может быть реализовано посредством цифрового моделирования. Основу электронной модели местности бассейна р. Баксан составляет цифровая модель рельефа, полученная полуавтоматической векторизацией топографической карты масштаба 1:50000. Участки с эталонными озерами выполнены в масштабе 1:25000. На них наложены топографические планы съемок озер с батиметрическими профилями и моренными (моренно-ледниковыми) комплексами в масштабе 1:1000. База данных по объектам исследования включает набор связанных таблиц с перекрестными ссылками и привязкой к объектам электронной карты, каталог фотодокументальных материалов, данных аэрофотосъемки и космических геоизображений отдельных участков исследуемого района. В качестве эталонного участка на созданной ЦМР был выбран ледник Башкара с фронтальными приледниковыми озерами и латеральным озером Башкара (рис. 6). Модель рельефа рассматриваемого участка построена в программном комплексе «Нева» методом полуавтоматической векторизации 8-битного растрового изображения. Набор инструментов ГИС дает гибкие возможности в морфометрических исследованиях как приледниковых озер, так и ледниковых комплексов в целом. Расчеты объемов рыхлого материала, построение зон затопления, продольных и поперечных профилей, выполнение морфометрических расчетов на основе данных съемок Башкаринских ледниково-озерных комплексов позволило разносторонне изучить механизмы возможного прорыва приледниковых водоемов и оценить возможные последствия.

Проблема мониторинга и прогноза прорыва приледникового озера неразрывно связана с возможностью своевременного получения информации – наземной, аэровизуальной, аэрофотосъемочной, космической и пр. (рис. 7). Часто сам факт подпруживания ледником стока с образованием котловины озера является первым прогностическим сигналом опасности. Ориентировочные сроки прорыва рассчитываются в данном случае на основании прогноза времени достижения уровня воды, составляющего 85-90% высоты запрудной плотины. Осо-

бенности прорывного паводка, формирующегося при этом, позволяют дать более точный прогноз величины и времени прохождения паводкового пика сразу же после начала прорыва. Гидрограф при прорывном паводке можно определить по формулам, соответствующим в каждом конкретном случае сочетанию типа запрудной плотины и характеру процессов, развивающихся при паводке.

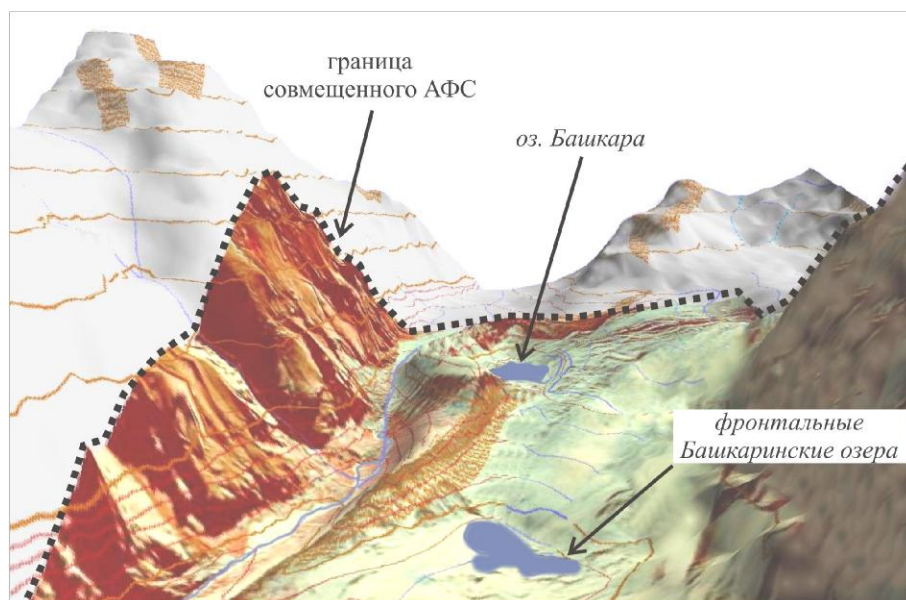


Рисунок 6 – ЦМР верховьев Адылсу
с ледником Башкара и Башкаринскими озерами

Моделирование прорыва приледникового озера Азау основано на анализе рядов климатических наблюдений по метеостанции «Терскол», данных наблюдений за таянием на леднике Гарабаши в районе «Ледовой базы», расчете изменения площади ледника Малый Азау по цифровым моделям рельефа в среде ГИС (рис. 8). На условия существования и динамики озера в значительной степени влияет соотношение, определяемое водным балансом. Водный баланс озера находит свое отражение в колебаниях уровня. Основной приходной частью водного баланса озера Азау является талый ледниковый сток с ледника Малый Азау. Сток формируется из следующих частей:

- талые ледниковые воды вследствие поверхностной абляции
- талые воды вследствие подледникового таяния
- воды внутриледникового таяния
- воды от таяния сезонного снега на языке ледника и в трещинах
- грунтового питания

Из указанных элементов наибольшая часть приходится на талые воды, образованные вследствие поверхностной абляции. Эта же составляющая рассчитывается по среднесуточным температурам воздуха. Второй по величине элемент приходной части водного баланса озера – жидкие атмосферные осадки (ливневые). Осадки на высоте питания озера аппроксимируются по значениям ближайшей метеостанции с применением вертикальных градиентов осадков.

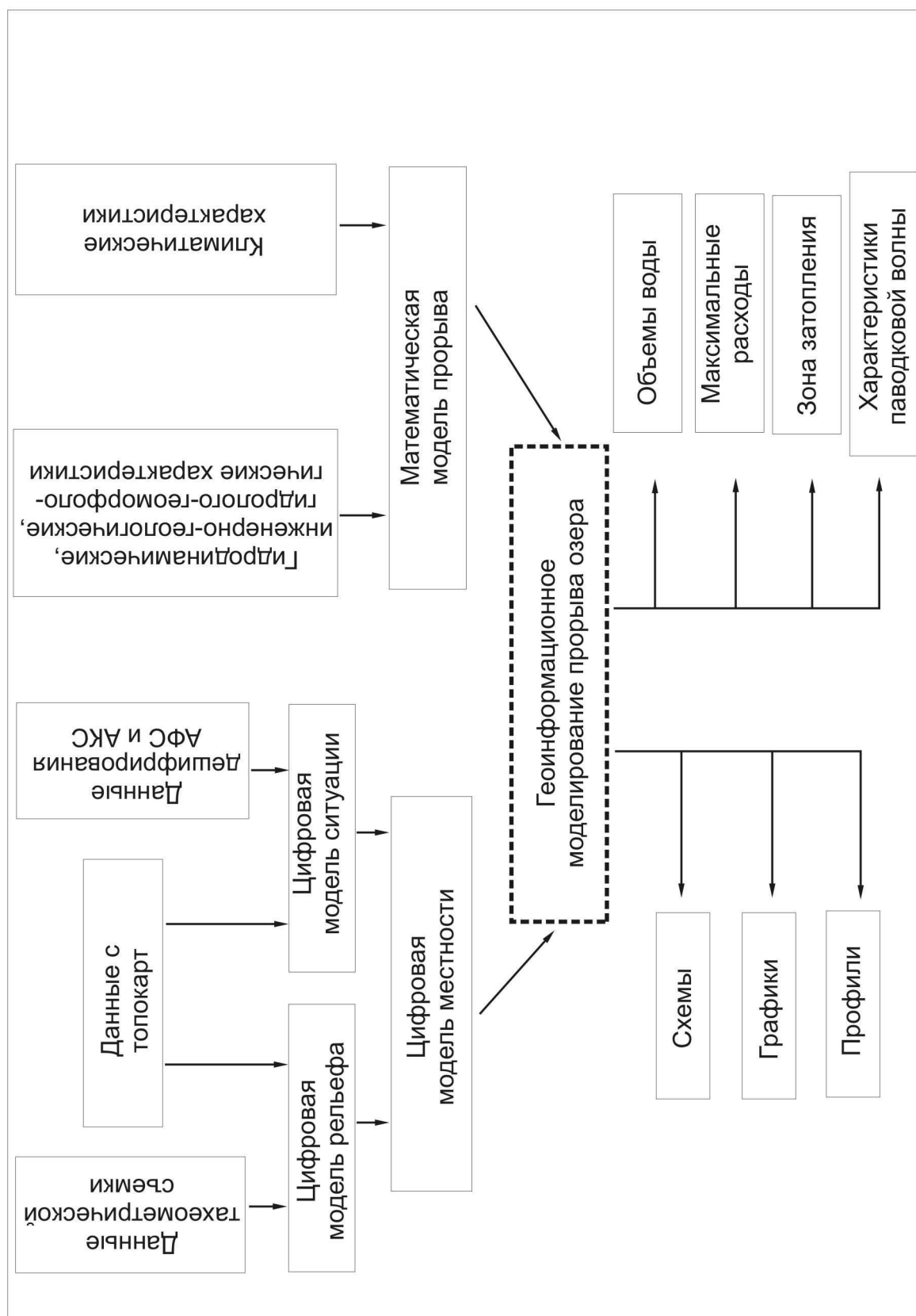


Рисунок 7 – Структурная схема организации данных при геоинформационном моделировании прорыва озера

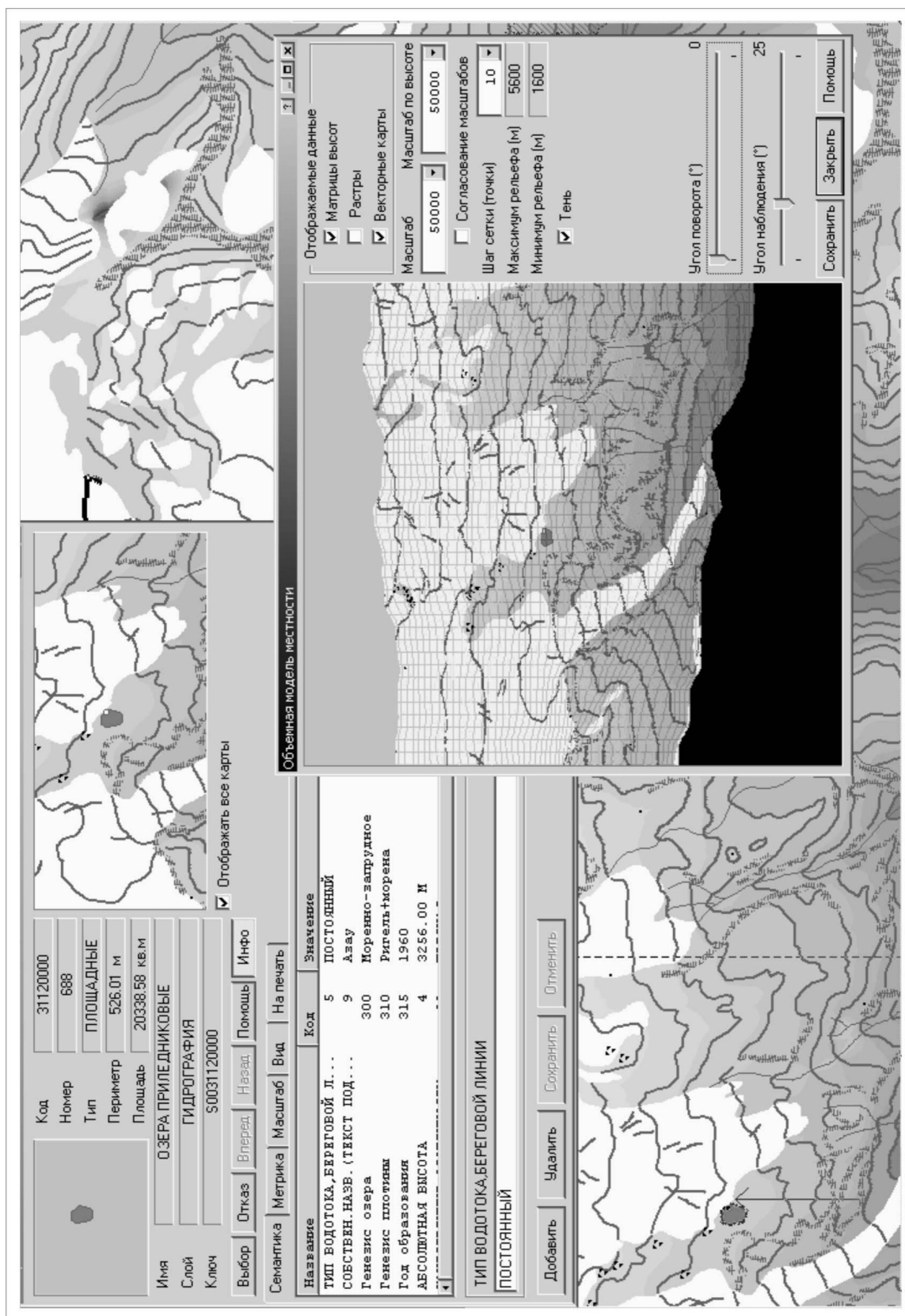


Рисунок 8 – Набор семантических характеристик для озера в ГИС “Панорама”.
 Объемная модель местности в районе приледникового озера Азау

Малый ряд наблюдений за озером не позволяет с высокой степенью надежности прогнозировать его поведение в ближайшем будущем, однако изменения и тенденции прослеживаются даже по наблюдениям за 2 года. В 2004 г. уровень воды в озере был близок к критическому, урез воды располагался на 0,45 м ниже отметки верха моренной плотины.

Если среднемесячные температуры воздуха и месячные суммы атмосферных осадков превысят показатели 2004 г. то возможным сценарием станет перелив через верх моренной плотины и ее размыв, который инициирует возникновение эрозионного селевого процесса по уже сформированному селевому руслу 1978 г. Опасными предпосылками могут являться элементы метеорологической ситуации, регистрируемые по м/с «Терскол». Это среднесуточные температуры воздуха теплого периода от +12°C до +18°C в течение 7-10 дней и ливневые осадки суммами более 20 мм/сут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приледниковые озера – сложные динамические элементы нивально-гляциальных ландшафтов Большого Кавказа. Главные условия и факторы их возникновения и дальнейшего развития – изменение климата, динамика ледников, гидрологический режим водных потоков, впадающих в озера. Различное их сочетание определяет особенности формирования озерных котловин, и их дальнейшую трансформацию.

Результатами проведенных исследований стали дополненные теоретические аспекты озерного морфолитогенеза для приледниковых водоемов на Западном и Центральном Кавказе. Новая методика геоинформационного картографирования приледниковых озер при наличии обновляющегося ряда материалов аэрофотокосмической съемки и регулярных полевых обследований позволяет организовать систему мониторинга в целях своевременного оповещения о возможном прорыве водоема с образованием гляциального паводка или селя. Практическая значимость данной работы заключается в оценке современного состояния некоторых приледниковых озер долины Баксана, где в настоящее время активно развивается рекреационный комплекс с различными видами экологического и экстремального туризма, горнолыжной отраслью. В этой связи оценка состояния и прогноз прорыва озер Азау, краевых Башкаринских или озера Башкара на основе геоинформационного моделирования помогут смягчить возможные неблагоприятные последствия гляциальной катастрофы.

Полученные закономерности формирования и развития морфолитогенеза для приледниковых озер в целом отражают его особенности в горных районах, входящих в Альпийско-Средиземноморский геосинклинальный пояс: Альпы, Балканы, Карпаты, Крым, Западный Памир, а также ряд других горных районов: Приполярный Урал, Алтай, Саяны и др.

Разработанные схемы формирования приледниковых озерных котловин, позволяют проследить всю сложную цепь их образования, вычленив первостепенные факторы и основные механизмы формирования, выявить

основные генетические виды приледниковых озер и их разновидности в зависимости от типа запрудной плотины.

Основным направлением дальнейших исследований может быть много-сторонний анализ и моделирование сложных многофакторных зависимостей в системе «ледник-озеро-плотина». При этом важна точная оценка механизмов формирования самой запрудной плотины, определение количественных характеристик компонентов водного баланса прорывоопасных приледниковых озер. Перспективным направлением исследований на озере Башкара может быть лазерное сканирование поверхности с радиолокационным зондированием ледника для построения модели его ложа и детального анализа участка ледниково-моренной перемычки, которая является запрудной плотинной.

Учет многочисленных гидродинамических, гидростатических, инженерно-геологических и др. параметров при построении модели поможет составить картину максимально возможного соответствия реальным природным условиям.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Зимницкий А. В. Изучение приледниковых озер Кавказа: проблемы и перспективы // Сб.матер. XV межреспубл. науч.-практич. конф. «Актуальные вопросы экологии и охраны природы экосистем южных регионов России и сопредельных территорий». Краснодар, 2002. С. 238-239.
2. Зимницкий А. В. Причины формирования подпрудного озера в верховьях р. Кубань // Сб. матер. I регион. науч.-практич. конф. «Экономика Северо-Кавказского региона на пути к устойчивому развитию в рыночных условиях». Краснодар, 2003. С. 223-224.
3. Ефремов Ю. В., Салпагаров Д. С., Зимницкий А. В. Оледенение и озерный период на Большом Кавказе // Сб. тез. науч.-практич. конф. «Итоги гляциогидрометеорологических наблюдений...». Теберда, 2003. С. 46-48.
4. Ефремов Ю. В., Зимницкий А. В. Карстовые озера Большого Кавказа // Сб. матер. IV регион. карстолого-спелеологического совещания «Карст и пещеры Кавказа». Сочи, 2003. С. 24-27.
5. Ефремов Ю. В., Зимницкий А. В. Морфолитогенетическое направление в исследовании озер // Сб. матер. Межд. науч.-практич. конф. «Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии». Минск, 2003. С. 158-160.
6. Зимницкий А. В. Озера Кельского вулканического нагорья // Сб. тез. 3 Межд. науч.-практич. конф. «Вулканизм...». Туапсе, 2003. С. 62-65.
7. Зимницкий А. В. Современное состояние приледниковых озер в долине р. Баксан и возможность их прорыва // Тез. докл. XIII Гляциологического симпозиума. Спб, 2004. С. 72.
8. Зимницкий А. В., Ефремов Ю. В. Методика геоинформационного картографирования приледниковых озер и краевых частей ледников на Боль-

- шом Кавказе // Сб. науч. тр. «Проблемы непрерывного географического образования и картографии». Вып. 4. Харьков, 2004. С. 130-133.
9. Зимницкий А. В. Экологический риск при прорывах приледниковых озер на Большом Кавказе: опыт геоинформационного моделирования // Сб. матер. XVII межреспубл. науч.-практич. конф. «Актуальные вопросы экологии... ». Краснодар. 2004. С 226-228.
 10. A. V. Zimnicky, Yu. V. Efremov The modern state and dynamics proglacial lakes in Baksan river basin // Abstracts of the presentations for the International conference «High mountain hazard prevention», Vladikavkaz, 2004. P. 61-62.
 11. Зимницкий А. В. Приледниковые озера Большого Кавказа: новые направления исследований. Вестник КрОРГО. 2005. С. 64-72.
 12. Ефремов Ю. В., Салпагаров Д. С., Зимницкий А. В. Ледниково-запрудные озера в плейстоцене и голоцене: распространение и генетические особенности // Журнал РАН «Геоморфология». М., 2005. С. 8-18.