

# Устойчивость горных озер Центральной Азии. Риски воздействия и принятие мер



МКУР



ДУШАНБЕ - 2008



# Содержание

Введение.....	3
1.Общая характеристика природных условий региона.....	4
2.Основные тенденции социально-экономического развития региона.....	6
3.Изученность горных озер.....	7
4.Горные озера как потенциальный источник опасности.....	11
5.Горные озера как потенциальный источник питьевого водоснабжения, ирригации, рекреации и развития горного туризма.....	13
6.Мониторинг горных озер.....	14
7.Правовая и институциональная основа в вопросах исследования горных озер.....	16
8.Характеристика горных озер и факторы, обуславливающие их образование.....	18
8.1.Классификация горных озер.....	18
8.2.Климатические факторы образования горных озер.....	23
8.3.Влияние геодинамических процессов на формирование и развитие горных озер.....	27
8.4.Влияние оледенения на формирование и развитие горных озер.....	28
8.5.Типы плотин горных озер.....	30
9.Оценка прорывоопасности горных озер. Методы оценки.....	32
9.1.Модели прорывов горных озер. Определение расхода прорывного потока.....	33
9.2.Определение зоны поражения прорывного потока.....	40
10.Принимаемые меры по уменьшению и предупреждению опасности прорывов горных озер.....	44
11.Выводы и рекомендации.....	47
Литература.....	49

Региональные координаторы по подготовке оценочного доклада:

Д.Д.Бузруков— Советник Председателя Госкомитета охраны окружающей среды и лесного хозяйства Республики Таджикистан, директор Таджикского филиала НИЦ МКУР

Эксперты от стран Центральной Азии:

С.А.Ерохин— Начальник инженерно-геологической службы Госгеоагентства Кыргызской Республики.

О.А.Подрезов— Доктор географ.наук, профессор, зав кафедры Кыргызско-Российского Славянского Университета.

Н.Р.Ишук — Старший научный сотрудник лаборатории сейсмической опасности Института сейсмологии АН Республики Таджикистан, эксперт по изучению горных озёр.

А.Хамидов— Заместитель директора Государственного унитарного предприятия «Агентства Хавошиноси» при Госкомитете охраны окружающей среды и лесного хозяйства Республики Таджикистан

Республика Узбекистан

Г.Р. Бенситова — Главный специалист управления экономики и организации природопользования Госкомприроды Республики Узбекистан

Научный редактор:

С.Х.Негматуллаев — почётный директор Института сейсмологии и сейсмостойкого строительства Академии наук Республики Таджикистан, доктор математических наук, академик.

В тексте книги использованы фотографии Н.Р. Ишука, А.Р. Ишука, Ж. Шнайдера, С.А. Ерохина, А. Хамидова, космические снимки «Landsat» 2001–2002 г. г.

## Введение

Цель доклада — обзор изученности состояния горных, в том числе прорывоопасных озер, условий их формирования, а также принимаемых странами Центральной Азии превентивных мер по снижению риска их воздействия на окружающую среду и жизнь населения, которые приведены в многочисленных публикациях, посвященных исследованию этой проблемы. Необходимость исследования прорывоопасных горных озер особенно актуальна в настоящее время в связи с нарастающими процессами изменения климата, деградации ледникового покрова на фоне активных геодинамических процессов, имеющих место в горных районах Центральной Азии.

Горы Центральной Азии составляют порядка 20% ее территории и служат своеобразным хранилищем более 60% водных ресурсов в виде льда и снега и являются гарантом сохранения и восстановления ландшафтного и биологического разнообразия. На территории Центральной Азии насчитывается 5 600 озер общей площадью 12197 кв. км, подавляющее большинство из которых расположены в горной части региона. Водные ресурсы средних и малых горных озер оцениваются в 51,1 км<sup>3</sup>, более 20 км<sup>3</sup> из которых — пресные.

Изучение горных озер Центральной Азии имеет более чем столетнюю историю, но вместе тем имело эпизодический и некомплексный подход. Плановое изучение прорывоопасности горных озер региона началось в 60-х годах прошлого столетия и продолжалось до распада СССР. С периода провозглашения суверенитета странами Центральной Азии объемы работ по системным исследованиям горных озер значительно сократились. В основном это связано с крайне низким уровнем финансирования государственных специализированных организаций, ответственных за проведение мониторинга природной среды, и оттоком квалифицированных кадров.

В настоящее время в странах Центральной Азии нет общепринятых подходов к изучению горных озер по условиям образования и их потенциальной опасности. У исследователей существуют различные классификации горных озер, которые в целом близки между собой, но расходятся по некоторым доминирующим факторам и условиям их образования. Вместе с тем от правильного определения причины образования горного озера зависит

достоверность прогнозирования его дальнейшего развития и принятие превентивных мер.

Необходимость исследования прорывоопасных горных озер особенно актуальна в настоящее время в связи с нарастающими процессами изменения климата, деградации ледникового покрова на фоне активных геодинамических процессов, имеющих место в горных районах Центральной Азии.

Правительства Кыргызской Республики и Республики Таджикистан в развитие рекомендаций Повестки дня на XXI век выдвинули инициативу, и Генеральной Ассамблеей ООН приняты соответствующие резолюции о провозглашении 2002 г. Международным годом гор, а 2003 г. Международным годом пресной воды. Также Генеральной Ассамблеей ООН принята специальная Резолюция об объявлении 2005–2015 гг. Международным десятилетием действий «Вода для жизни». Это дает весомый импульс к активизации деятельности в реализации проектов и программ, связанных с комплексным исследованием развития горных территорий.

За последние годы возрос интерес международных организаций к вопросам изучения горных озер в Кыргызстане и Таджикистане. Однако оказываемое международными организациями содействие развитию политики в области чрезвычайных ситуаций носит непостоянный характер и в основном направлено на реагирование уже произошедшего масштабного стихийного бедствия и оказание помощи в восстановительных работах.

Эффективное решение проблем, связанных с исследованием горных прорывоопасных озер, налаживание механизма по их мониторингу как на национальном, так и на региональном уровне, требует последовательных, целенаправленных и рассчитанных на длительную перспективу совместных действий. Они должны объединить усилия правительств, структур гражданского общества, деловых кругов, ученых, а также наладить дальнейшее развитие международного сотрудничества.

Издание предлагаемого оценочного доклада было осуществлено благодаря инициативе Surendra Shrestha (Director of UNEP Regional Resource Center for Asia and the Pacific (UNEP RRC. AC, Bangkok. Thailand) и финансовой поддержке ГЭФ.



# 1. Общая характеристика природных условий региона

Центральная Азия занимает территорию площадью около 4 млн. кв. км, расположенную между 35–55° северной широты и 48–87° восточной долготы. В состав Центральной Азии входят: Республика Казахстан, Кыргызская Республика, Республика Таджикистан, Туркменистан, Республика Узбекистан (рис. 1). Общее население составляет около 59 млн. человек, средняя плотность которого приближается к 15 чел. на кв. км.

Территория Центральной Азии в гипсометрическом отношении расположена в диапазоне от 132 м ниже уровня моря (впадина Карагие в Западном Казахстане) до 7495 м над уровнем моря (пик Исмоила Сомони в горах Памира в Таджикистане).

По строению поверхности земли 4/5 территории характеризуется равнинами и лишь 1/5 часть занимают горы.

Ландшафтное разнообразие на горных территориях подчинено вертикальной поясности. Здесь выделяются горные полупустыни, горные степи, горные леса, альпийские луга и высокогорные пустыни и полупустыни.

В горной части Центральной Азии формируется подавляющая часть водных и гидроэнергетических ресурсов.

Горы оказывают определенное влияние на атмосферные возмущения большей части и равнинных территорий. Прежде всего, в горах атмосферные осадки во много раз превышают соответствующие суммы осадков на равнинах. Здесь среднегодовое количество осадков достигает 500–700 мм. Горные территории, играя исключительно важную роль в пространственно-временном распределении водных ресурсов, являются областью аккумуляции осадков и образования ледников и вечных

снегов — единственных источников возобновляемых ресурсов пресных вод. В то же время, горы Центральной Азии представляют большую опасность в плане проявления стихийных природных бедствий: землетрясений, оползней, обвалов, снежных лавин, селей и т. д., которые могут значительно осложнить социально-экономические условия не только жителей горных районов, но и всех густонаселенных предгорных и пустынных равнин. Хотя горы составляют менее 20% территории Центральной Азии, их экосистемы служат своеобразным хранилищем многообразия видов флоры и фауны и являются гарантом сохранения и восстановления ландшафтного и биологического разнообразия.

Для климата аридной зоны Центральной Азии характерны высокие летние температуры воздуха, достигающие в абсолютных значениях +50° С. Средняя температура в июле колеблется в пределах +28° на севере и +32° на юге. Абсолютный минимум температуры достигает -40° на севере и -26° на юге

Количество атмосферных осадков составляет 100–200 мм. Высокие летне-осенние температуры и большая сухость воздуха приводят к почвенной засухе и повышению транспирации у растений.

На огромной равнинной части Центральной Азии ощущается большой дефицит пресной воды. Наиболее крупные реки Амударья и Сырдарья, стекая с высоких гор Памиро-Алая и Тянь-Шаня, устремляются по песчаной пустыне к Аральскому морю. К настоящему времени сток этих рек почти полностью зарегулирован и достигает Арала в незначительных объемах.

Подземные воды, в значительном объеме залегающие в предгорных районах и вдоль речных артерий, используются в основном для водоснабжения городов, населенных пунктов и орошения прилегающих к ним земель.

На территории Центральной Азии насчитывается около 5 600 озер общей площадью 12 197 кв. км. Особо известны такие крупные озера как Иссык-Куль (Кыргызстан), Каракуль (Таджикистан), Балхаш (Казахстан) и др. Эти озера приурочены к бессточным котловинам и являются гигантскими испарителями речного стока.

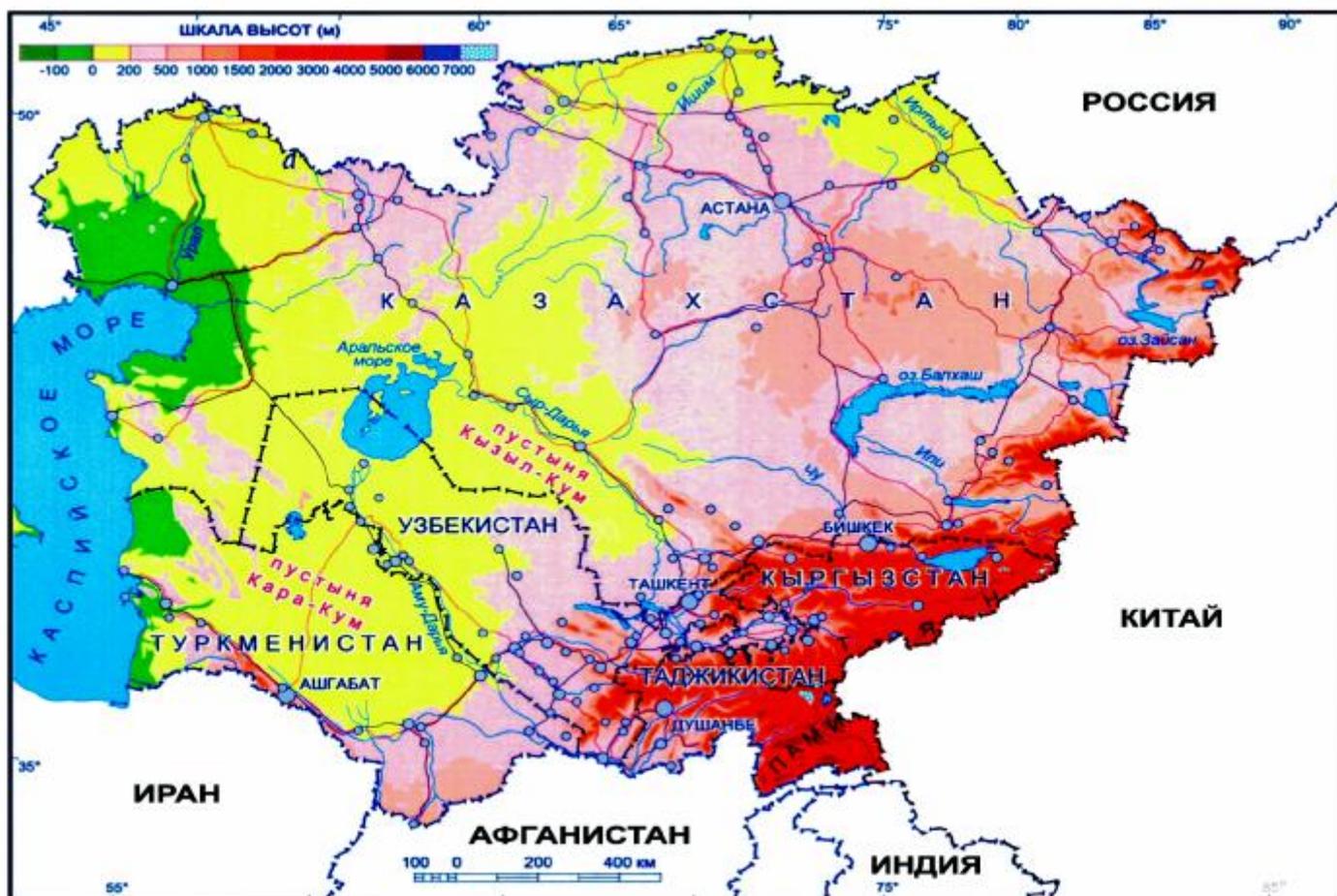


Рис. 1. Физико-географическая карта Центральной Азии

В растениеводстве главной культурой является хлопок, занимающий подавляющую часть орошаемой территории стран Центральной Азии. Выращиваются также зерновые, плодовые, овощные и бахчевые культуры. Необозримые природные пастбищные территории позволяют развивать менее трудоемкую, но более доходную отрасль животноводства — овцеводство и верблюдоводство.

Около 159 млн. га от общей площади Центральной Азии представляют собой сельскохозяйственные угодья, из которых пастбища занимают 82–97%, из них более 9 млн. га приходится на орошаемые земли.

Богатейшие минерально-сырьевые, водные и земельные ресурсы субрегиона способствовали

развитию индустриально-аграрного направления в экономике. В недрах стран Центральной Азии выявлены и эксплуатируются огромные ресурсы нефти и газа, гидроэнергетики, черных и цветных металлов, угля, хрома, свинца, урана и др.

В горных областях находятся основные площади лесных угодий Центральной Азии. Они играют чрезвычайно важную роль как источник топлива, деловой древесины, лесных продуктов, местобитания широкого представительства фауны и флоры. Богатое ландшафтное разнообразие определяет высокую рекреационную ценность горных территорий и условия для развития туризма.



## 2. Основные тенденции социально-экономического развития региона

После распада в 1991 г. Советского Союза одним из наиболее серьезных последствий для стран Центральной Азии стал резкий спад экономики, негативно отразившийся на уровне жизни подавляющего большинства населения региона. В ряду наиболее выраженных социальных проблем появились такие, как: высокий уровень бедности (Кыргызстан, Таджикистан) и заболеваемости, безработица, снижение уровня ожидаемой продолжительности жизни и рождаемости.

Несмотря на то, что страны Центральной Азии географически представляют собой единый и исторически взаимосвязанный регион, они неоднородны по своему положению и развитию.

Несмотря на различия в площади, численности населения, ресурсному и экономическому потенциалу страны региона сближают некоторые общие трудности: доступ к рынкам мира, экологические проблемы, значительная подверженность территорий стихийным бедствиям и антропогенным нагрузкам, неудовлетворительная система социального обеспечения и проблемы государственного управления.

По индексу человеческого развития (ИЧР) страны Центральной Азии (кроме Туркменистана) занимали в 2003 г. место ниже, чем в 1992 г.: Казахстан — 80; Кыргызстан — 111; Таджикистан — 122; Туркменистан — 97; Узбекистан — 109.

Результатом резкого падения уровня производства и доходов стали совокупные потери в ВВП, которые варьируют примерно от 20% — в Узбекистане, до 70% в Таджикистане в период с 1990 по 1999 гг. и примерно 40% в Казахстане, 45% в Кыргызстане и 50% в Туркменистане. С 1999 г. экономика всех центральноазиатских стран до-

стигла сравнительно высоких темпов роста, чему способствовало сочетание восстановления производства, реформ, высоких цен на полезные ископаемые и позитивный рост в соседних странах, особенно России и Китае [7].

На смену постоянного роста инфляции, бюджетного дефицита и долгового бремени постепенно приходит макроэкономическая стабильность. Хотя в некоторых странах Центральной Азии все еще наблюдается высокий уровень внешнего долга.

Страны региона отличаются также по уровню привлекаемых прямых иностранных инвестиций. Наиболее крупные объемы инвестиций поступают в экономику Казахстана, далее идут Туркменистан, Кыргызстан, Таджикистан и Узбекистан.

К 2003 г. все страны Центральной Азии добились определенного успеха в области реформирования государственного управления секторов экономики.

Правительствами стран предпринимаются действия по повышению доходов населения, проводится сельскохозяйственная реформа, реализуется программа занятости и создания рабочих мест, развития инфраструктуры села. Формируются условия для ускоренного развития малого и среднего бизнеса, реализуются программы и стратегии по борьбе с бедностью и безработицей (Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Узбекистан).

Отмечается положительная тенденция стран Центральной Азии в региональных аспектах экономического развития, политической стабильности и международной интеграции.



### 3. Изученность горных озер

Изучение озер бывшей Средней Азии имеет более чем столетнюю историю, начало которому было положено во второй половине XIX в., когда были предприняты обширные общегеографические исследования природы Туркестана.

В исследованиях озер выделяются три периода: дореволюционный (до 1917 г.), довоенный (с 1921-1941 гг.) и современный (с 1950 г.).

В течение 1848–1949 г. экспедиция под руководством А. И. Бутакова произвела инструментальную съемку Аральского моря и в 1850 г. была издана его первая карта. Эти исследования, по мнению В. Л. Шульца, следует считать началом гидрологического изучения на территории Средней Азии.

В то же время первые сведения о гидрографии озер Средней Азии приводятся в трудах арабских и среднеазиатских географов средневековья, относящихся к X — XI в. в. Ими были описаны и нанесены на карту Аральское (Хозермийское) море, Сарыкамышские озера, оз. Иссык-куль (Барсхан), Чатыр-Кель (Кюрен-Куль), Сонг-Кель. К наиболее выдающимся среднеазиатским ученым-географам XI–XII вв. принадлежали Абу-Райхан-ал-Бируни, Захриддин Бабур, Мухаммад Хайдар Мирза.

Во второй половине XIX в. начинается планомерное изучение территории Средней Азии. В этот период несомненная заслуга в изучении среднеазиатских озер принадлежит таким выдающимся исследователям Туркестана, как П. П. Семенов-Тянь-Шанский, А. П. Федченко, А. А. Северцов, А. В. Каульбарс, А. А. Тилло, А. С. Берг, исследования которых неразрывно связаны с деятельностью основанного в 1845 г. Русского географического общества.

Значительные орографические исследования Восточного Памира были проведены в 1877–1878 гг. экспедицией под руководством Н. А. Северцова. Были описаны озера Каракуль, Ранкуль, Шоркуль, Яшилькуль и Сасыккульская группа озер, многие озера были нанесены на карту впервые.

Начиная с 1911 г., внимание ученых привлекает озеро Сарез, возникшее в результате крупнейшего обвала в долине р. Мургаб на Памире. Посетившие и работавшие на этом озере исследователи (Г.И. Шпилько, И.П. Преображенский, О.К. Ланге и др.) произвели топосъемки Усойского завала, геологическое изучение берегов озера и завала, зафиксировали данные о формировании водоема.

Первое обобщение материалов по гидрографии озер Средней Азии было выполнено Н.Л. Корженевским в работе «Туркестан. Физико-географические очерки», где приведены краткие сведения

Таблица 1. Выборочные макроэкономические индикаторы

Государство	Ежегодный рост ВВП, %	Инфляция, %	Внешний долг к ВВП, %	Чистые ПИИ к ВВП, %	Чистые ПИИ, млн. долл. США
Казахстан	9,20	6,4	76,8	7,4	2 188
Кыргызстан	6,67	3,1	102,7	2,4	46
Таджикистан	10,20	14,4	64,7	2,1	32
Туркменистан	16,90	5,6	30,2	3,5	218
Узбекистан	4,40	10,2	48,1	0,7	70

Источник.: Всемирный банк, 2005г.

об отдельных крупных озерах и дан перечень не большого числа малых озер Средней Азии.

Работа Л. А. Молчанова «Озера Средней Азии», вышедшая в 1929 г., являлась до начала 60-х годов XX в., по существу, единственным справочным пособием по среднеазиатским озерам. В работе каталогизированы все известные к тому времени озера бассейнов рек Амударьи, Сырдарьи, Или, Чу, Таласа, Мургаба, Теджена, Каракола, Аксу, Сарысу, бассейна оз. Иссык-куль, Узбоя и побережья Каспийского моря. В результате было каталогизировано 987 озер общей площадью 94 400 кв. км. В работе дается также краткое схематическое описание режима озер и сформулированы основные положения о размещении озер на территории и их происхождении. В 1936 г. Ташкентским филиалом ГГИ при создании Водного кадастра была выполнена новая каталогизация озер Средней Азии, в результате чего значительно уточнились

количество и площади зеркала озер. Всего было учтено 2400 озер.

Организация стационарного изучения гидрометеорологического режима озер относится к началу XX в. Изучение режима озер ограничивалось простейшими сезонными гидрометеорологическими наблюдениями в прибрежной и открытой зонах, проводимыми экспедиционным путем.

Озера оставались и остаются до настоящего времени на положении плохо изученных в плане стационарных и систематических озероведческих исследований. Достаточно обратить внимание на тот факт, что до настоящего времени на озерах Средней Азии, за исключением Аральского моря и Иссык-куля, нет ни одной специализированной озерной станции.

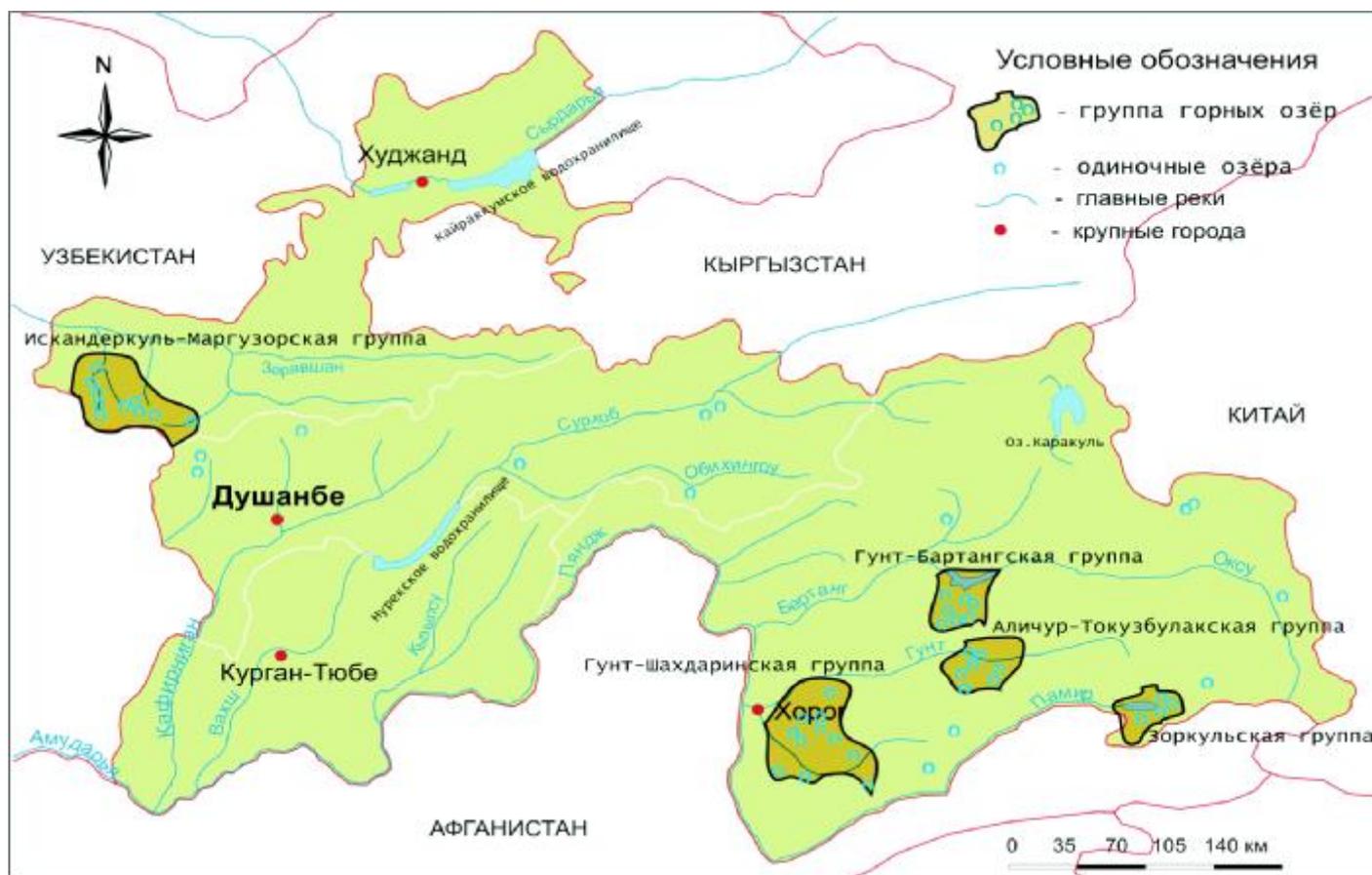


Рис.2. Схема концентрации горных озер Таджикистана

Только к концу 20-х и в 30-е годы XX в. открываются посты на озерах поймы р. Сырдарьи, расширяется озерная сеть на оз. Иссык-куль, открываются станции на озерах Искандеркуль, Сарезском и Яшилкуль с небольшим комплексом озерных наблюдений.

В настоящее время к разряду действующих относятся 20 пунктов, на которых ведутся наблюдения за уровнем, ледово-термическим режимом, химическим составом вод, метеорологическим режимом прибрежной зоны водоемов.

В 1962–1966 гг. при подготовке к изданию справочника «Ресурсы поверхностных вод» была проделана большая картометрическая и библиографическая работа, в результате которой были получены новые данные о количестве и площади зеркала озер, их размещении по территории Средней Азии и выполнено аннотирование литературных источников.

В середине 60-х годов прошлого столетия перво-степенное значение приобретают вопросы изучения горных озер, исследование которых было, по существу, полностью прекращено в начале 40-х годов. Основными направлениями в исследованиях явились: оценка возможности прорыва плотин завальных и моренных озер и водных ресурсов горных озер, получение характеристик гидрометеорологического режима водоемов, могущих служить аналогами строящихся горных водохранилищ. Причиной возросшего интереса к горным озерам послужили прорывы озер Иссык в 1963 г. и Яшинкуль в 1966 г.

В результате проведенных в 1966–1975 гг. исследований по выявлению прорывоопасных озер были получены сведения о морфометрии и морфологии озерных чаш и гидрологическом режиме по более чем 300 озерам, а также определен перечень опасных горных озер, на которых необ-

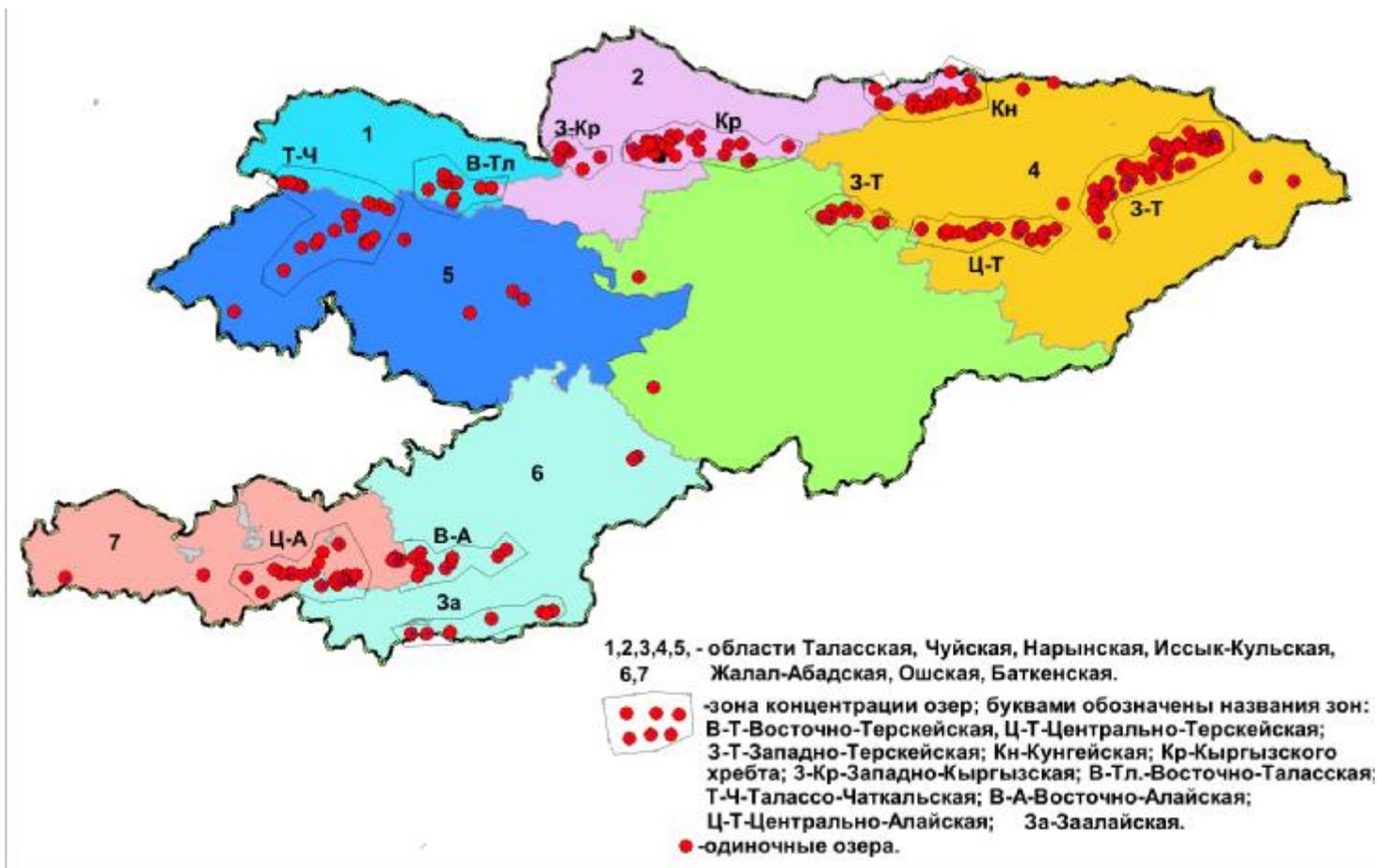


Рис. 3. Схема концентрации горных прорывоопасных озер на территории Кыргызстана

ходимо проведение мероприятий по ликвидации возможного их прорыва.

В 1962 г. было проведено рекогносцировочное обследование 35 озер Юго-Западного и Центрального Таджикистана. Основное внимание уделялось изучению химического состава вод и физико-химических свойств донных отложений озер.

В 1963 г. продолжалось изучение бессточных озер Восточного Памира. Обследовано 13 водоемов, изучен химический состав воды и донных отложений, выяснено геологическое строение озерных котловин. Обследовано бессточное соленое озеро Сасыккуль, воды и подземные рассолы которого имеют промышленный интерес по содержанию бора, соды, редких элементов.

В связи со случаями катастрофических прорывов горных озер в Центральной Азии, начиная с 1967 г. Комплексной геологической экспедицией, совместно с институтом ВСЕГИНГЕО продолжено изучение озер Таджикской ССР уже с целью определения степени их селеопасности.

С 1967 г. начаты исследования по определению устойчивости Усойского завала (Сарезское озеро). Обследован весь бассейн озера с целью определения степени его селеопасности. Проведен комплекс топографических и геофизических работ. В итоге высказано мнение о реальной опасности прорыва Сарезского озера и необходимости дальнейшего продолжения исследований.

В 1968 г. выполнено рекогносцировочное инженерно-геологическое обследование озер Маргужорских, Искандеркуль, Истон, Куликалон (Таджикабад), Казаккуль и Чашма-и-Сангак с целью определения возможности их прорыва. В этот же период аэровизуальными наблюдениями обследованы 94 озера Памира [45]. В 1987 г. вышла монография А.М. Никитина «Озера Средней Азии», где были обобщены все сведения по озерам Средней Азии [23].

В Таджикистане насчитывается 1449 озер общей площадью 716 кв. км [44], (различные исследователи приводят разные цифры, что зависит от исходных материалов, по которым производился подсчет), что составляет 0,5% территории респу-

блики. Почти 80% озер и основная их площадь находятся в горных районах республики в интервале высот от 3000 до 5000 м над уровнем моря. Наиболее крупные озера и их тип показаны на карте горных озер Таджикистана (рис.2). В пределах Кыргызстана насчитывается 1923 озера с площадью зеркала более 0,1 кв. км, из них около 100 озер имеют площадь более 1 кв. км. Схема расположения зон концентрации прорывных горных озер (групп озер) показана на рис. 3

В конце прошлого столетия из горных озер подробно изучалось только Сарезское, на берегу которого расположена гидрометеостанция Ирхт. Составлены подробные карты глубин озера, температуры и химического состава воды на различных глубинах. Аэровизуальными методом обследованы некоторые небольшие приледниковые озера, угрожавшие прорывом.

Летом 2005 г. было проведено рекогносцировочное обследование высокогорных озер, расположенных вдоль Памирского тракта. Установлено, что небольшие озера обмелели, их площадь уменьшилась. Протока между озерами Ранкуль и Шоркуль превратилась в узкий арык, расстояние между этими водоемами увеличилось. Обмелело и уменьшилось в размерах оз. Сасыккуль. На озере Каракуль заметных изменений не произошло.

Изученность озер Центральной Азии продолжает оставаться крайне неудовлетворительной. Совершенно отсутствуют сведения по таким видам специализированных исследований на озерах, как волнение, течения, трансформация наносов, занесение и заиление озер, переформирование берегов, возможность образования гравитационных деформаций склонов по периметру озера.



## 4. Горные озера как потенциальный источник опасности

Среди опасных природных процессов, характерных для территории Центральной Азии, особой катастрофичностью отличаются селевые потоки, образующиеся при прорывах горных озер. В зону их поражения попадают многие населенные пункты, автодороги, линии электропередач и трубопроводы, земельные угодья и пастбища.

Как было отмечено выше, на территории Центральной Азии насчитывается 5 600 озер, из них большее число — горные. Сосредоточение большого числа озер в горных областях объясняется климатическими и морфолого-гидрографическими особенностями этих областей, так как горы Центральной Азии служат аккумулятором влаги, формирующим сток рек региона, а также наличием благоприятных геоморфологических и геотектонических условий [23]. Комплексные исследования горных озер на предмет их прорывоопасности проводились, но недостаточно, в связи с чем информации об устойчивости плотин и возможности их разрушения и прорыва также недостаточно.

Горные озера условно можно разделить на не прорывоопасные и прорывоопасные. Первые значительно больше, чем вторых. Прочные плотины имеют 50–60% озер, еще 20–30% образовались в глубоких западинах на площади развития древних морен (типа Арабельских сыртов) и также являются устойчивыми. Лишь 20–30% от общего числа озер имеют непрочные плотины, состоящие либо из моренно-ледниковых образований, либо из рыхлообломочных слабосвязанных отложений. Такие плотины могут разрушаться под действием ряда факторов. В этом случае происходят прорывы озер, которые зачастую имеют катастрофические последствия для жителей нижерасположенных долин и равнин.

Следует подчеркнуть, что часть озер в процессе своего развития, а также в процессе развития геологической ситуации своего района может переходить из одной группы в другую. Так, сильные землетрясения могут вызвать прорыв озер с самыми устойчивыми плотинами. С другой стороны, по мере перехода моренно-ледникового комплекса в моренный (таяние погребенных льдов), моренно-ледниковое озеро переходит в моренное. Тем не менее, разделение горных озер на две группы имеет большое значение как для их изучения, так и для практического использования.

В результате обследования плотин озер и озерных ванн выявляются критерии, по которым проводится типизация озер и оценивается степень их прорывоопасности. На прорывоопасных озерах определяется механизм прорыва и строится его модель, по которой рассчитывается величина расхода прорывного потока. Определение расхода прорывного потока является очень важным параметром прорывоопасных озер, так как от его величины во многом зависит возможность трансформации прорывного потока в селевой и размер границ селевого поражения.

Горные озера, как правило, относятся к удаленным геологическим угрозам (с точки зрения расстояния, а не времени), так как зарождаются в высокогорных районах, вдали от населенных пунктов. Они расположены преимущественно в высокогорье, в безлюдной местности. Горные озера содержат запас воды, которая при определенных условиях может обладать огромной разрушительной силой. Поэтому горные озера следует относить к особо опасным источникам стихийных бедствий.

Как показали исследования последних десятилетий, изменение климата вызывает значительные изменения состояния окружающей среды, в том числе отмечается тенденция уменьшения снежно-ледового покрова. Повышается вероятность появления новых горных озер и формирования на них плотин, связанных с ледниковым фактором.

Кроме того, ускорившийся в последнее время процесс глобального потепления вызывает образование озер и повышение границы вечной мерзлоты. Последний приводит в движение огромное количество рыхлообломочного материала, ранее

сцементированного льдом. Этот материал уже подвергается воздействию различных гравитационных склоновых процессов, которые часто проявляются в виде селевых потоков или других, более медленных смещений масс. Оползни, каменные глетчеры, сели могут создавать завалы в долинах и таким образом, перекрывать русла рек. Кроме того, оползни могут сходиться непосредственно в озеро, что может вызвать образование опасной паводка с катастрофическими последствиями для населения, проживающего ниже по течению реки. Хотя физическую причину многих природных событий нельзя устранить, геологические и гидрологические исследования, передовые инженерно-технические методы, осведомленность, готовность и эффективное обеспечение соблюдения правил землепользования и расселения людей могут помочь снизить эти риски.

Несмотря на неоднократно предпринятые попытки исследования горных озер на предмет изучения их прорывоопасности и возможного их воздействия на окружающую среду и население, в настоящее время не существует подробного перечня ледниковых и прорывоопасных озер для горных стран Центральной Азии. Поэтому чрезвычайно важно провести инвентаризацию и обследование гляциальных озер для получения данных

о прорывных озерах, которые могут спровоцировать паводки и сели и нанести ущерб населению нижележащих речных долин.

Последнее событие, связанное с формированием селевого потока, спровоцированного прорывом горного озера, произошло в Таджикистане в 2002 г. в верховьях р. Даштдара (бассейн р. Шахдара). Прорывная волна из гляциального озера вызвала крупномасштабный селевой поток общим объемом в 1,2 млн. м<sup>3</sup> осадков, который частично разрушил кишлак Дашт и послужил причиной гибели 24 человек (фото 1).

Другой потенциальный источник опасности в Таджикистане — Сарезское озеро. Общий ущерб от прорыва этого озера оценивается в 5 млрд. долл. США. Воздействию катастрофы при прорыве озера будут подвергнуты территории Таджикистана, Афганистана, Узбекистана и Туркменистана.

В Кыргызстане в настоящее время прорывоопасными считаются более 200 озер. Из них наибольшую угрозу представляют озера следующих типов: ледниковые (оз. Мерцбахера в Центральном Тянь-Шане), моренно-ледниковые (оз. Петрова в Верховьях р. Нарын) и завальные (оз. Кельтор и Минжилки).

За 1990–2005 г. произошло 672 случая селей и паводков, в том числе и от прорывов горных озер. Плановое, регулярное изучение горных прорывоопасных озер в Кыргызстане началось с 1966 г., после катастрофического прорыва оз. Яшилькуль в бассейне р. Исфайрамсай 18 июня 1966 г. 15 августа 1966 г. вышло постановление Совета Министров Киргизской ССР о необходимости обследования высокогорных озер республики в целях предупреждения селевой опасности.

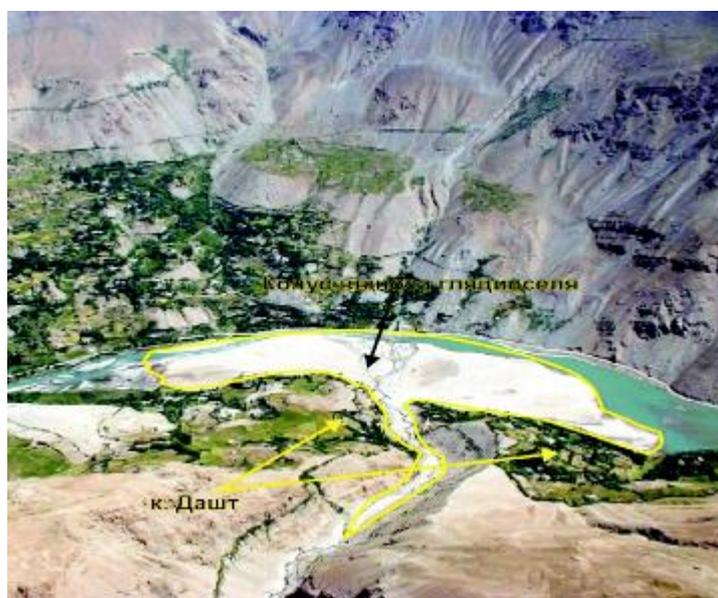


Фото 1. Конус выноса гляциоселя в кишлаке Дашт



## 5. Горные озера как потенциальный источник питьевого водоснабжения, ирригации, рекреации и развития горного туризма

Вопросы рационального, комплексного использования и охраны горных озерных вод Центральной Азии являются весьма актуальными.

Исследования показали, что водные ресурсы средних и малых горных озер оцениваются в 51,1 км<sup>3</sup>. При этом 93 % объема вод сосредоточено в озерах

Каракуль (26, 6 км<sup>3</sup>),  
Сарезское (16, 1 км<sup>3</sup>),  
Яшилькуль (0, 52 км<sup>3</sup>),  
Сонг-Кель (2, 8 км<sup>3</sup>),  
Чатыр-Кель (0, 61 км<sup>3</sup>),  
Карасу (0, 22 км<sup>3</sup>),  
Сарычелек (0, 49 км<sup>3</sup>),  
Искандеркуль (0, 17 км<sup>3</sup>) [23].

Горные озера являются потенциальным источником чистых пресных и ультрапресных вод. При этом их основные водные ресурсы сосредоточены в одном из крупнейших завальных озер мира — Сарезском, где содержится более 60 % водных ресурсов пресных вод горных озер Центральной Азии.

Использование водных ресурсов Сарезского озера позволило бы существенно повысить гарантированную водоотдачу для целей орошения в бассейне р. Амударья, особенно в крайне маловодные годы, а также решить энергетическую проблему для населения Западного Памира. Таким образом, Сарезское озеро могло бы стать есте-

ственным водохранилищем комплексного назначения.

Не до конца изучены перспективы использования горных озер в качестве высоконапорных гидроэлектростанций. Есть информация, что вероятная мощность деривационной ГЭС для Сарезского озера — около 500 тыс. кВт. Однако отсутствие мощной материально-технической базы и опыта не позволяют пока осуществить строительство такой ГЭС. Вместе с тем, хорошим примером строительства ГЭС на базе горных озер может служить использование вод горного оз. Яшилькуль на Западном Памире в качестве гидрорегулирующего сооружения для ГЭС «Памир-1».

В принципе, на каждом горном озере, имеющем поверхностный сток, можно установить мини-электростанцию. В Кыргызстане пока это сделано только на оз. Аккуль (в бассейне р. Кокемерен). Здесь на вытекающем из озера ручье установлена электростанция мощностью около 5 кВт для водоснабжения села Аккуль.

В настоящее время горные озера рассматриваются, в первую очередь, как объекты опасности. По другим направлениям озера недостаточно изучены и используются весьма ограниченно.



Фото 2. Турбаза на озере Искандеркуль



## 6. Мониторинг горных озер

Как источник водоснабжения в Кыргызстане используется оз. Петрова (верховье р. Нарын) моренно-ледникового происхождения. Оно обеспечивает работников золотодобывающего рудника Кумтор питьевой и технической водой. Другие случаи использования вод горных озер для орошения не известны.

В перспективе возможно использование вод горных озер для водоснабжения населенных пунктов и хозяйственных объектов. Особенно перспективны завальные озера, так как они расположены на небольшой высоте и более доступны, чем озера других типов. Кроме того, в завальных озерах содержится большие объемы воды хорошего качества. Еще в 1871 г. А. П. Федченко при обследовании территории Туркестана указывал на реальную возможность использования вод оз. Исскандеркуль в целях орошения земель долины р. Зеравшан.

В последние годы усиливается интерес к целебным свойствам некоторых озер и возможности их использования в бальнеологических целях. Это, прежде всего, вода и грязи того же оз. Иссык-куль и небольших соленых озер, расположенных по его берегам Каракель и Тузкель. Во внутреннем Тянь-Шане привлекает внимание оз. Саманкель в бассейне р. Алабуга. Вода в этом озере содержит до 2 г натрия и калия на 1 л при общей минерализации 6,6 г/л. Состав воды гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый. Святым озером с лечебной водой среди местного населения считается оз. Кутманкель в бассейне р. Майлисай.

Горные озера являются объектами туризма и отдыха. Широко известны базы отдыха на озерах Иссык-куль, Исскандеркуль, Шинг, Куликалон. Многие горные озера включены в списки интересных туристических объектов.

Система мониторинга и органы, осуществляющие его, определены законодательством стран Центральной Азии. Это, прежде всего, государственные службы, созданные с целью наблюдения за процессами, происходящими в окружающей среде, их оценки, прогноза и обеспечения информацией заинтересованных организаций и населения.

Существующая в странах Центральной Азии государственная система наблюдений и статистической информации характеризуется разнообразием источников, а также методов сбора и обработки полученных данных.

Информация по состоянию окружающей природной среды собирается, обобщается и распространяется как центральной статистической службой, так и министерствами и ведомствами, ответственными за политику в этой области.

Мониторинг природных и техногенных аварийных ситуаций и стихийных бедствий проводит МЧС; на гидрометеорологические службы возложено ведение мониторинга состояния естественных водных ресурсов и динамики их развития.

После распада Советского Союза систематизированные наблюдения за состоянием окружающей среды и динамикой развития природных явлений и объектов региона, а также работа по их прогнозированию резко ослабли. Значительно упало финансирование государственных специализированных организаций, ответственных за проведение мониторинга природной среды. Формирование их потенциала в странах Центральной Азии будет зависеть от экономического развития.

Вместе с тем в странах Центральной Азии (особенно в Кыргызстане и Таджикистане) сегодня мы имеем:

- несовершенную институциональную структуру управления в вопросах ведения мо-

- нитинга природной среды и некоторое дублирование функций;
- не до конца определенные приоритетные направления объектов и среды ведения мониторинга;
- отсутствие интегрированной методологии оценки состояния окружающей среды (взаимосвязь и взаимообусловленность с социально-экономическими вопросами);
- отсутствие необходимых ресурсов высококвалифицированного кадрового потенциала в соответствующих ведомственных службах, осуществляющих мониторинг;
- недостаточное использование методов ГИС.

Важной проблемой для стран Центральной Азии является мониторинг рисков от прорыва горных озер и возможность раннего оповещения об этом населения. Решение этой задачи является важным фактором в снижении риска стихийных бедствий и «смягчении» их последствий.

Определенное содействие в создании сети гидрометеорологического мониторинга и изучения динамики природных процессов оказывают международные организации.

Например, благодаря осуществлению международных проектов ВБ, Фонда Ага-хана и др. Усойская плотина Сарезокго озера в настоящее время оснащена современной системой раннего оповещения и системой мониторинга за ее состоянием. Население, проживающее вдоль русла реки, имеет соответствующие знания и навыки и сможет своевременно принять соответствующие меры в случае прорыва озера.

В связи с этим усовершенствование систем раннего оповещения является действенным способом увеличения эффективности готовности и реагирования на стихийные бедствия, благодаря которому сократится число жертв среди населения и уменьшится социально-экономический ущерб.

На базе Информационно-аналитического центра Таджикистана, созданного при МЧС республики, образована научно-технологическая инфраструктура, необходимая для проведения исследований, наблюдений, анализа, картографирования,

и там, где это возможно, прогнозирования природных и связанных с ними бедствий. Также разрабатывается соответствующая информационная база, апробируются инновационные научные и технические методы для оценки рисков, мониторинга и раннего оповещения, внедряются методы космических технологий, дистанционного наблюдения, прогноза погодных-климатических условий, систем географической информации, моделирования бедствий, систем оценки рисков и раннего предупреждения [8].

По характеру расположения прорывоопасных озер на территории Кыргызстана выделено 10 зон их концентрации. Озера каждой зоны объединены в одну группу. Кроме того существует группа разрозненных озер, которые по одному или по 2-3 разбросаны по территории республики. В этой группе насчитывается 22 озера. Схема концентрации прорывных горных озер (групп) показана на рис. 3

Своеобразие зон обусловлено зоной их концентрации. Поэтому в сеть мониторинга должны быть включены озера разных зон. В каждую зону входят озера различных типов: ледниковые, моренно-ледниковые, моренные, завальные. Из них в сеть мониторинга необходимо включить озера наиболее представительных типов из каждой зоны. Кроме этого, необходимо учитывать состояние озера. Озера в прорывоопасном состоянии должны быть в режиме постоянного наблюдения.

Так как горные озера — объекты весьма динамичные, то сеть мониторинга должна изменяться в зависимости от их состояния. Она должна постоянно пополняться новыми объектами, а ранее учтенные озера после стадии прорыва будут исключаться из нее.

Методику проведения режимных наблюдений на озере в процессе его мониторинга, а также регулярность предлагается определять на месте, в зависимости от конкретной ситуации: возможности подъездов и подходов к озеру, климатических и погодных условий, характера развития озера в каждой зоне концентрации.

В Республике Узбекистан, ввиду отсутствия унифицированной системы представления информации

по селевым потокам и прорывоопасным озерам при проведении мониторинга Главгидрометом разработана программа в виде двух блоков — «Селеопасные явления» и «Прорывоопасные озера». Для второго блока разработан раздел «Народохозяйственные объекты, расположенные в зонах повышенной селеопасности, и влияние на них прорывоопасных озер». В разделе даны основные причины развития процесса и параметры его проявления, характер угрозы объекту и рекомендации профилактических работ во избежание опасности селевых явлений. Перечислены также объекты зоны затопления в случае прорыва озер, произведен расчет времени «добегания» паводковой волны. Кроме того, разработана система «Гидрометеорологического мониторинга горных озер», в которой дается оценка современного состояния и тенденций изменения основных характеристик гидрометеорологического режима наиболее крупных прорывоопасных водоемов на территории Узбекистана, определены приоритеты необходимых наблюдений и разработаны планы и программы кратко-, средне- и долгосрочных задач по их реализации. Предлагаются варианты комплектации техническими средствами мест наблюдений, обработки, передачи и анализа гидрометеорологической информации.

Возможно, было бы целесообразно изучить этот опыт соседним странам Центральной Азии с целью его реализации в регионе. Необходимо также учитывать трансграничный характер большинства прорывоопасных озер, их расположение на территории одного государства и возможность нанесения ущерба соседним. К решению этой задачи целесообразно приступать с началом восстановления наблюдательных сетей в областях формирования стока.



## 7. Правовая и институциональная основа в вопросах исследования горных озер

Снижение рисков стихийных бедствий относится к сфере ответственности МЧС, которые были созданы в странах Центральной Азии для разработки и реализации политики, направленной на предотвращение чрезвычайных ситуаций, защиту жизни людей и минимизацию ущерба. Эти министерства координируют деятельность различных ведомств, региональных и местных органов управления по разработке и реализации планов действий в чрезвычайных ситуациях. На МЧС возложены также функции обучения местного населения, государственных служащих правильному реагированию при возникновении чрезвычайных ситуаций, управлению государственными резервными фондами, материальными и техническими ресурсами, включая продовольствие и медикаменты.

Страны Центральной Азии добились разной степени успеха в разработке планов подготовки к чрезвычайным ситуациям.

Политика в области чрезвычайных ситуаций стран Центральной Азии в настоящее время поддерживает региональный механизм, действующий на основе сотрудничества стран СНГ в рамках Межгосударственного совета по чрезвычайным ситуациям при стихийных бедствиях и техногенных катастрофах. В компетенцию совета входит подготовка соглашений о сотрудничестве, разработка и осуществление технических программ в

Вставка 1

Страны ЦА в 2005 г. (за исключением Туркменистана) присоединились к Хиогской декларации и Рамочной программе действий на 2005–2015 г., призывающим к снижению степени опасности стихийных бедствий и развитию международного сотрудничества в этой области.

## Законодательная основа в странах Центральной Азии

### Кыргызстан:

- Закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (принят 24 февраля 2004 г.).
- «Порядок определения зон паводково-го и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики»(2001г.).
- МЧС республики ежегодно составляет региональный прогноз возможных проявлений природных процессов в следующем году, включая прорывы горных озер.

### Таджикистан:

- Закон «О гражданской обороне» (1995г.).
- Закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (2004г.).
- Закон «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» (2003 г.).
- Закон «О фонде ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (1993.г.)
- Внебюджетный фонд ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (1998).

### Узбекистан:

- Постановлением Правительства Республики Таджикистан при МЧС было организовано агентство «Сарез», на которое было возложена ответственность за обеспечение предупреждения и подготовки населения, проживающего в районах, находящихся в зоне возможного прорыва оз. Сарез (2002 г.).
- Нормативный акт «О классификации чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и экологического характера»(1998 г.)
- Закон «О защите населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (1999г.)
- Нормативный акт «О государственной системе предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях»(2001г.).
- Нормативный акт «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации последствий, связанных с пропуском паводковых и селевых потоков, оползневыми явлениями» (2003г.).
- Правовыми актами стран Центральной Азии определены вопросы страхования населения от стихийных природных бедствий.

области предотвращения катастроф и смягчение их последствий, интеграция национальных систем, а также обучение и обмен опытом между соответствующими ведомствами.

Принятое в 1998 г. странами Центральной Азии (кроме Туркменистана) Соглашение о совместном использовании трансграничных рек, водохрани-

лищ и водной инфраструктуры предусматривает создание основы для совместной деятельности по «смягчению» последствий, вызванных весенними паводками, оползнями и другими стихийными бедствиями. Создана Межгосударственная рабочая группа по обсуждению природных бедствий, имеющих общий региональный характер.



## 8. Характеристика горных озер и факторы, обуславливающие их образование

### 8.1. Классификация горных озер

Горные озера ЦА представлены большим разнообразием и по размерам, и по очертаниям. Генезис горных озер зависит от различных взаимообусловленных факторов, имеющих как эндогенное, так и экзогенное происхождение. Для горных территорий происхождение озер связано в основном с процессами новейших тектонических движений и высокой сейсмичностью, составом горных пород, слагающих озерные плотины, активностью оползневых, обвальных и других склоновых процессов. Важное место в формировании и развитии озер играют климатические факторы, такие как осадкообразование, влагообеспеченность и температурный режим, факторы, связанные с процессами оледенения, динамикой снежно-ледового покрова и т. п.

Существует множество классификаций горных озер. Одни исследователи основывают классификацию на ландшафтных признаках, другие — на генетических, третьи используют комбинированные подходы.

#### По ландшафтному признаку

- а). Ледниковые озера, расположенные на леднике или подпруженные им, их котловины частично или полностью состоят из «тела» ледника.

- б). Моренные озера, расположенные на поверхности современных морен (конечных, боковых, срединных)
- в). Горно-долинные озера, расположенные в горных долинах вне современных ледниково-моренных комплексов. В эту группу входят и озера, расположенные на древней морене.

#### По генезису

По генезису горные озера классифицируются [44] на: Тектонические озера, возникшие в результате горообразовательных процессов при движении земной коры (сбросы, сдвиги). Отличаются большими размерами и глубинами.

Завальные озера, образовавшиеся вследствие обрушения массы пород со склонов гор в русло реки при обвалах, оползнях, в основном при сейсмических колебаниях земной коры. Обычно такие озера находятся там, где имеется глубокий эрозионный врез или крутой склон долины.

Западинные озера, образовавшиеся в понижениях рельефа и не имеющие ярко выраженной плотины.

Гляциогенные озера обязаны своим образованием деятельности как современного, так и древнего оледенения. В свою очередь их можно разделить на ледниковые, каровые, зандровые и моренные озера. Они занимают наиболее верхние зоны территорий в интервале высот 4000–4500 м над уровнем моря и подпитываются талыми водами снега и льда. Их отличают значительные амплитуды колебания воды. Сток происходит переливом воды через естественную плотину или путем фильтрации сквозь морены.

Моренные озера, образовавшиеся в углублении, выработанном древней мореной. В формировании чаши их участвуют отложения древней морены.

Запрудные озера, образовавшиеся в результате перекрытия русла основной реки или бокового притока движущимся ледником, сравнительно быстро продвигающейся современной мореной,

древними лавовыми потоками или отложениями селя.

Термокарстовые озера, котловина которых образовалась в результате неравномерного протаявания льда на поверхности и просядок, возникающих вследствие развития термокарста в «теле» ледника или морены.

Зандровые озера, образовавшиеся в результате подпруживания вод, стекающих из-под ледника, современными флювиогляциальными отложениями.

Гидрогенные озера — провальные, водно-аккумулятивные и водно-эрозионные. Провальные озера в свою очередь представлены карстовыми, суффозионными и термокарстовыми. Последние образуются в областях многолетней мерзлоты за счет вытаивания погребенного льда. Расположены такие озера в интервале высот 3000–4500 м над уровнем моря.

Если озеро образовалось в результате нескольких причин, то употребляется комбинированное название по генетическим признакам, например: завально-тектоническое и т.д.

Как видно из выше изложенного, классификации горных озер примерно одинаковы. В то же время трудность состоит в определении типа плотины горного озера. Вместе с тем, от правильного определения причины образования озера зависит правильность прогнозирования его состояния, то есть будет оно прорывоопасным или нет.

В Кыргызстане С.А. Ерохиным и О.А. Подрезовым разработана классификация по принципу прорывоопасности горных озер. По характеру состава и строения плотин горные озера делятся на следующие типы:

Непрорывоопасные: 1) тектонические; 2) моренные; 3) ригельные; 4) завальные.

Таблица 2. Классификация озер Средней Азии по А.М. Никитину [23]

Группа	Тип	Подтип
Горные озера	–	–
Тектонические	Межгорные впадины, внутригорные впадины, завальные платформенные прогибы	–
Гляциогенные	Ледниковые, каровые, зандровые, моренные	–
Гравитационные	Обвально-оползневые, снеголавинные	–
Гидрогенные	Провальные, водно-эрозионно-аккумулятивные	Термокарстовые, карстовые суффозионные, дельтовые, старицы, плесово-конечные, лагунные
Дефляционно-соровые	–	–

Таблица 3. Классификация озер по типу плотин по Ж. Шнайдеру [40]

Тип	Описание
A	Озера с гляциальными плотинами или расположенные на льду
B	Озера, запруженные мореной (водоемы, образовавшиеся в углублениях, оставленных старыми «языками» ледников)
C	Озера, плотины которых образовались в результате движения масс (оползней или обвалов)
D	Большие озера, имеющие композитные плотины (моренная плотина и обвальный материал)
E	Озера на коренных породах, имеющие плотины с устойчивой гидрологической структурой

Прорывоопасные: 1) ледниковые; 2) моренно-ледниковые; 3) моренные; 4) завальные.

В составе некоторых прорывоопасных озер выделяются подтипы, отличающиеся друг от друга (внутри типа) по генезису плотин, морфологии озерных ванн, по условиям питания и стока:

1. Ледниковые — термокарстовые и подпруженные озера, озера протаивания и внутриледниковые емкости.
2. Моренно-ледниковые — озера внутриморенных депрессий и термокарстовых воронок.
3. Завальные — завально-обвальные и завально-селевые.

Озера каждого типа и подтипа имеют свои характерные признаки, которые очень важно знать, чтобы определить действительно прорывоопасные.

## Непрорывоопасные озера:

Тектонические озера приурочены к межгорным и внутригорным впадинам. Их на территории Кыргызстана три: Иссык-куль, Сонкуль, Чатыркуль. Они достигают огромной площади и объема. Первое и третье из них не имеют стока, второе проточное.

Ригельные озера Для этих озер характерны следующие признаки, определяющие устойчивость их плотин:

1. Плотина представлена скальным ригелем. Ригель обнажен или частично перекрыт чехлом рыхлообломочных отложений.
2. В гребне скального ригеля имеется понижение. Это, так называемая, плотинная перемычка, через которую стекают озерные воды. Русло водотока, вытекающего из озера, на ригельном участке обычно выложено скальными породами.
3. Сток воды из озера через плотинную перемычку происходит в устойчивом режиме. Этим путем сбрасываются все «излишки» озерной воды. Плотинная перемычка является порогом стока.

Фациальный анализ отложений, слагающих плотины озер и борта озерных ванн показывает, что они представлены, в основном, фациями древних подкомплексов: позднеголоценовыми, раннеголоценовыми, верхнеплейстоценовыми моренами, раннеголоценовым коллювием и делювием. Широкий диапазон возраста отложений, слагающих плотины озер и борта озерных ванн, свидетельствует о весьма продолжительном сроке «жизни» ригельных озер, достигающем нескольких тысяч лет. Этот факт доказывает, что ригельные озера являются устойчивыми природными образованиями.

Моренные озера, тоже могут быть «долгожителями», если в них по мере таяния ледниковой составляющей их плотин, развивается поверхностный сток, и они переходят в группу непрорывоопасных озер. Хорошо развитая система притока и оттока воды обуславливает долгую жизнь (сотни лет) моренных озер. Моренные озера, сформировавшиеся во внутриморенных депрессиях, в настоящее время являются проточными и имеют объемы до нескольких миллионов кубических метров (оз. Чокотыкель в верховьях долины р. Джуюка — 6.1 млн. м<sup>3</sup>, озеро Чонкуркель, в верховьях долины реки Барскаун — 4.4 млн. м<sup>3</sup>). В составе отложений, слагающих плотины и борта ванн моренных озер, нет погребенного и мореносодержащего льда. Чаще всего эти отложения представлены ледсодержащими (ледсегрегационными) моренами и мерзлыми породами коллювиального, делювиального, пролювиального и аллювиально-пролювиального генезиса. Такой состав плотин обеспечивает их устойчивость.

Завальные озера образуются на днищах горных долин, выше мощных селевых завалов. После прорыва таких завалов озера обычно исчезают. Однако возможны случаи, когда озерная ванна опорожняется лишь частично. У озера появляется поверхностный сток. Оно переходит в спокойный режим развития и может существовать сотни лет. К таким относятся, например: оз. Кок-Мойнок в бассейне р. Туюк-Иссыккатынской, оз. Чон-Аксу-среднее в долине р. Чон-Аксу.

## Прорывоопасные озера

Ледниковые озера Ванны термокарстовых ледниковых озер формируются на поверхности современных ледников в термокарстовых воронках и понижениях. Особенно благоприятны для формирования термокарстовых воронок прибортовые участки ледников. Типичным в этом случае является оз. Джарды-Каинды, Восточное на северном склоне Кыргызского хребта. Объемы таких озер могут составлять несколько десятков тысяч кубических метров.

Ледниковые озера подпруженного подтипа образовались в результате подпруживающего действия ледников. Для широко известного оз. Мерцбахера это действие оказывает ледник главной долины Южного Иньльчека по отношению к боковой долине Северного Иньльчека. Прорывы оз. Мерцбахера происходят один раз в 2-3 года. В отдельные годы это озеро прорывалось дважды. Так было в 1966 г. К прорывоопасным относятся также оз. Бузулгансу.

В процессе аэровизуального обследования наблюдалась еще одна разновидность ледниковых озер — образовавшиеся на поверхности ледников в процессе их протаивания. Однако эта разновидность не вызвала большого интереса потому что, во-первых, ледниковые плотины таких озер расчленены множеством трещин, по которым талые воды уходят внутрь ледников и по внутриледниковым каналам стекают к их периферии, то есть условий для накопления на поверхности ледника больших объемов воды нет; во-вторых, расход прорывных потоков из таких озер зависит от пропускной способности внутриледниковых каналов, а она обычно невелика и не превышает 10-20 м<sup>3</sup>/с. Это обуславливается разветвленностью каналов и значительной их извилистостью, что увеличивает силы сопротивления движению воды и резко уменьшает пропускную способность каналов. Кроме этого, борта и кровля внутриледниковых каналов состоят из прочного чистого или мореносодержащего льда. Поэтому внезапное расширение каналов невозможно (фото 3).

К прорывоопасным можно отнести внутриледниковые озера которые образуются во внутриледниковых емкостях. Они невидимы с поверхно-

сти и проявляются во время непосредственного их прорыва. Такие прорывы обычно обуславливают формирование мощных гляциальных селей. Внутриледниковые емкости образуются далеко не на каждом леднике, а там, где имеются ледопавы со сложной разветвленной системой внутриледниковых каналов.

Прорывы внутриледниковых емкостей — весьма распространенное явление. Часто они обуславливают формирование мощных гляциальных селей. Наиболее яркими примерами таких селевых потоков являются сели в долине р. Аксай (бассейн р. Ала-Арча, на северном склоне Кыргызского хребта), в долине р. Ангысай (бассейн р. Тон, на северном склоне хребта Терсей-Алатоо).

Моренно-ледниковыми являются озера, сформировавшиеся на поверхности моренно-ледниковых комплексов. Наиболее прорывоопасные озера этого типа образуются на днищах внутриморенных депрессий, однако в последние годы после Шахимарданской трагедии 1998 года, привлекли к себе внимание озера термокарстовых воронок.

Озера внутриморенных депрессий. Ванны озер этого подтипа образуются во внутриморенных депрессиях после отступления ледника. Днище и борта депрессий состоят из водоупорных пород, представленных следующими разновидностями:

- 1) чистый лед;
- 2) мореносодержащий лед;
- 3) ледсодержащая морена;
- 4) мерзлые рыхлообломочные породы.

Условия оттока талых вод из депрессии через такой водоупорный экран весьма затруднены. Поэтому на днищах внутриморенных депрессий скапливается вода. Она нагревается солнцем до 8°–10°. За счет ее тепла протаивается лед и ледсодержащие породы на днище и бортах депрессии. Формируется озерная ванна. Объем воды в таких ваннах может достигать более 1 млн. м<sup>3</sup>. Например: оз. Четынды, объемом 1400 тыс. м<sup>3</sup>; оз. Петрова, объемом 50 млн. м<sup>3</sup>(фото 4).

В зависимости от соотношения притока талых вод во внутриморенную депрессию и их оттока озер

ная ванна может охватывать либо часть депрессии, либо почти все ее днище.

Развитие озерной ванны зависит от двух факторов: 1) термокарстовой активности талых вод; 2) состава и строения моренно-ледниковых образований, слагающих днище и борта ванны.

Выделяют три типа ванн озер: 1— сформированные непосредственно у «языков» ледников, 2— отступившим от них ледником; 3— эпизодически заполняемые водой. Первые развиваются во всех направлениях, преимущественно в сторону отступающего ледника, вторые уже миновали активный этап своего развития и находятся в спокойном режиме и только третьи являются прорывоопасными. Самым сложным в объяснении и прогнозировании процесса прорыва этих озер является механизм закупорки каналов стока. Он пока еще недостаточно изучен.

Озера термокарстовых воронок — это своеобразный подтип моренно-ледниковых озер. Термокарстовые воронки образуются, в основном, на гребнях валов конечных морен, боковых и фронтальных, и на поверхности конечно-моренных «языков». Чаще всего они приурочены к участкам расширения и углубления внутриморенных каналов стока. Их количество на больших конечно-моренных комплексах может достигать нескольких десятков.

Термокарстовые воронки появляются на участках протаивания погребенного льда. Механизм их формирования пока изучен слабо. Вероятнее всего, они являются результатом действия термокарстовых процессов на участках повторно-жильных или трещинных льдов. Вода в воронках скапливается за счет таяния льдов, слагающих днища и борта воронок, таяния снега, попадающего в воронки. Возможен также сток талых вод с окружающих склонов моренных валов. Площадь бассейна питания воронок весьма невелика и составляет обычно 0.01–0.1 кв. км. Однако в силу затрудненности стока, в воронках может скапливаться значительное количество воды объемом в несколько десятков тысяч кубических метров. Сток воды из воронок подземный и только там, где он затруднен, наблюдается ее скопление. Поэтому об озерах в термокарстовых воронках можно сказать, что они

образуются не из-за значительности водопритока, а в силу затрудненности стока. Прорывоопасность этих озер пока изучена слабо, но Шахимарданская трагедия 1998 г. показала, что прорывы таких озер могут быть весьма опасны. При определенных условиях может произойти протаивание подземных каналов стока и их раскупорка. В этом случае озеро прорывается и расход прорывного потока может достигать нескольких десятков кубических метров в секунду. Наиболее прорывоопасны молотые термокарстовые воронки, так как они активно развиваются посредством протаивания погребенного и мореносодержащего льда.

Моренные озера располагаются гипсометрически ниже моренно-ледниковых. Плотины этих озер представлены древними моренными комплексами из мерзлых рыхлообломочных слабопроницаемых пород. Их ванны унаследованы от моренно-ледниковых озер раннеголоценового и плейстоценового возрастов. В процессе трансформации моренно-ледниковых озер в моренные к последним переходит от первых прорывоопасность, хотя степень ее значительно уменьшается. У большинства моренных озер развивается поверхностный сток, поэтому они традиционно считались непрорывоопасными. Однако в процессе обследования моренных озер выяснилось, что некоторые из них в определенной ситуации могут стать прорывоопасными.

Завальные озера. С землетрясениями и селевыми потоками связано формирование озер завального типа (фото 5). В первом случае формируется завально-обвальный подтип, а во втором завально-селевой.

Завально-обвальные озера. После грандиозных обвалов горных склонов, обусловленных сейсмическими толчками, на днищах долин формируются мощные завальные плотины, выше которых накапливаются значительные массы воды объемом от нескольких сотен тысяч до сотен миллионов кубических метров. Например, оз. Кольтор, (2,5 млн. м<sup>3</sup>) и оз. Сарычелек (515 млн. м<sup>3</sup>).

Сток из завально-обвальных озер происходит как поверхностным, так и подземным путем. По мере развития озера подземный сток сменяется на поверхностный. Переход одной формы стока в дру-

гую обычно сопровождается катастрофическими прорывами озер (оз. Яшинкуль в 1966 г.), поэтому прорывоопасными среди завально-обвальных являются озера с подземным стоком. Наиболее крупными из них являются озера: Сарычелек (515 млн. м<sup>3</sup>), Кулун Большое объемом 118 млн. м<sup>3</sup>, Кара-Су — 223 млн. м<sup>3</sup>, Кара-Токо — 49 млн. м<sup>3</sup>. На некоторых завально-обвальных озерах поверхностный сток появляется только при максимальном наполнении их ванн (Кольтор).

Прорывы завально-обвальных озер происходят поверхностным путем через эрозионные прораны. Расходы водотоков при этом достигают от нескольких сотен до первых тысяч кубических метров. По сравнению с моренно-ледниковыми озерами, завально-обвальные прорываются значительно реже, однако их прорывы более разрушительны.

Завально-селевые озера образуются на днищах горных долин, выше мощных завалов, сформированных селевыми выносами при выходе их из долин боковых притоков. В течение короткого времени (от нескольких часов до нескольких суток) озерная ванна переполняется и начинается поверхностный перелив через плотинную перемычку и ее эрозионный размыв. В теле плотины формируется проран, через который происходит полное или частичное опорожнение озера. Расход прорывного потока достигает при этом нескольких сотен кубических метров.

## 8.2 Климатические факторы образования горных озер

### Температурный режим

Изменения в одной части климатической системы могут иметь последствия, которые характеризуются тенденцией усиления с течением времени. Например, уменьшение снежного покрова из-за

повышения температуры может снизить уровень отражения солнечной энергии обратно в атмосферу, что, в свою очередь, приведет к увеличению объема энергии, поглощаемой поверхностью Земли. Это приведет к повышению температур и, следовательно, к более активному таянию. Но усиление облачности, вызываемое, возможно, более интенсивным таянием, может уменьшить, например, интенсивность солнечной радиации, достигающей поверхности Земли и, в конечном итоге, снизит температуру у поверхности.

Глобальное изменение климата, обусловленное «парниковым эффектом», стало в настоящее время важнейшей международной и политической проблемой. Климатические изменения будут охватывать практически все сферы деятельности человека.

Генеральная Ассамблея ООН еще в декабре 1988 г. приняла Резолюцию о сохранении глобального климата для нынешних и будущих поколений человечества, в которой отмечается, что проблема изменения климата должна решаться в глобальном аспекте.

Результаты многочисленных расчетов, выполненных с помощью климатических моделей, свидетельствуют о глобальном повышении температуры воздуха в диапазоне 1°–3.5° к 2050 г., что может отрицательно сказаться на социально-экономическом развитии многих стран. Таджикистан, расположенный в аридной зоне и в сложных физико-географических условиях, где присутствуют почти все климатические зоны, является уязвимым в плане негативных последствий изменения климата.

Исходной информацией для оценки изменения статистических рядов температуры воздуха и атмосферных осадков послужили данные месячного разрешения [44]. Для ряда станций восстановлены пропущенные данные наблюдений по температуре воздуха и осадкам. Методика восстановления основана на множественной линейной регрессии с использованием в качестве предикторов синхронных данных. Данные об осадках восстановлены по отдельным станциям из-за низких пространственно-временных корреляционных связей, вызванных большой изменчивостью их выпадения по территории.

За период с 1940 г. по 2000 г. в долинных районах Таджикистана величина изменения средней температуры воздуха положительная и тренд колеблется от  $0,3^\circ$  (Худжанд) до  $1,2^\circ$  (Дангара).

В горных районах тенденция изменения температуры неоднозначна, она отрицательна в районах Хушьери, Рашта и Сангистона ( $-0,8^\circ$ ;  $-0,3^\circ$ ), но положительна по остальным территориям в основном  $0,4^\circ$ - $0,5^\circ$  и лишь в Файзабаде и Ишкашима —  $0,8^\circ$ .

В высокогорье (выше 2500 м над уровнем моря) наблюдается рост годовой температуры на  $0,2^\circ$ - $0,4^\circ$  и лишь в высокогорной котловине оз. Булункуль отмечено понижение температуры ( $-1,1^\circ$ ).

Графики температуры показывают, что тренды средней годовой температуры воздуха 1940 — 1960 гг. отрицательны. С 60-х годов тренд начинает менять свое направление и становится положительным. Приведенное деление дает возможность говорить о наличии устойчивого потепления климата, начиная с 60-х годов XX в., причем по сравнению с предыдущим периодом изменилась не только величина трендов, но и само их направление. Тенденция потепления сохраняется и в настоящее время.

Исследование влияния климатического фактора на образование и развитие горных озер в Кыргызстане показало, что к концу XX века среднегодовая температура воздуха в связи с глобальным потеплением климата значительно увеличилась, а суммы осадков практически не изменились.

По пяти метеостанциям (МС) Юго-Западного Кыргызстана (ЮЗК) и Внутреннего Тянь-Шаня (ВТШ),

расположенным в диапазоне высот 1,5–3,6 км, приведены (С.Ерохин, О.Подрезов) коэффициенты линейных трендов средних температур воздуха и сумм осадков за период 1930–2000 гг. (табл. 4.)

Как видно, в пересчете на 100 лет в среднем по Кыргызстану среднегодовая температура повысилась на  $1,6^\circ\text{C}$  (январь на  $2,6^\circ\text{C}$ , июль на  $1,2^\circ\text{C}$ ), а суммы осадков практически не изменились как в году, так и по сезонам. При этом в ЮЗК средние годовые температуры повысились мало (Пача-Ата на  $0,6^\circ\text{C}$  тогда как в высокогорье они возросли значительно сильнее (Сары-Таш на  $2,4^\circ\text{C}$ ). Годовые суммы осадков в обеих зонах возросли: в среднегорье сильно, на 239 мм, а в высокогорье меньше — на 61 мм. Это составляет соответственно 32% и 16% от нормы.

Во ВТШ, по данным 3-х станций, среднегодовые температуры в пересчете на 100 лет выросли на  $1,2^\circ\text{C}$ , причем в январе диапазон увеличения составил  $1,1^\circ\dots, 5,2^\circ\text{C}$ , а в июле —  $0,5^\circ\dots, 1,9^\circ\text{C}$ . Годовые суммы осадков или практически не изменились (Нарын, увеличение на 11 мм в год) или весьма сильно снизились — на 126 и 167 мм, что составляет 41–47% от нормы.

Таким образом, для территории Кыргызстана, по данным инструментальных наблюдений, в прошлом столетии имело место более высокое, чем глобальное для всей Земли ( $0,6^\circ\pm 0,2^\circ\text{C}$ ), потепление климата с изменением роста по среднегорной и высокогорной зонам в пределах  $0,6^\circ$ – $2,4^\circ\text{C}$  и очень неоднородным изменениям осадков по территории — от роста на 16 — 32% до уменьшения на 41–47%.

Таблица 4. Значения линейных трендов температуры ( $\beta_T, ^\circ\text{C}/10$  лет) и осадков ( $\beta_P, \text{мм}/10$  лет) в XX веке.

Область	Метеостанция	Z, км	$\beta_T, ^\circ\text{C}/10$ лет			$\beta_P, \text{мм}/10$ лет		
			год	январь	июль	год	январь	июль
ЮЗК	Пача-Ата	1,54	0,06	0,29	-0,01	23,9	1,6	3,6
	Сары-Таш	3,16	0,24	0,37	0,17	6,1	1,0	-0,5
ВТШ	Нарын	2,04	0,12	0,52	0,05	1,1	-4,8	-0,1
	Суусамыр	2,06	0,12	0,05	0,19	-16,7	-0,6	-1,4
	Тянь-Шань	3,63	0,12	0,11	0,12	-12,6	-0,2	-4,4
Кыргызстан		0,16	0,26	0,12	2,3	-0,1	-0,4	

По глобальным климатическим моделям (ГКМ) были сделаны расчеты сценариев будущего климата Кыргызстана на середину — конец XXI века. Значения полученных данных потепления  $T^{\circ}C$  и отношения осадков  $R$  по одной из основных моделей приведены в табл.5 и 6

При этом использованы два сценария выбросов парниковых газов: IS92a — средневысокие выбросы с удвоением концентрации  $CO_2$  к 2100 г. и IS92c — средненизкие выбросы с ростом концентрации на 35%.

Как видно, для сценария IS92a к 2100 г. средняя годовая температура возрастет на  $3,0^{\circ}C$ , а для IS92c — на  $2,4^{\circ}C$ . К XXI в. рост составит по обоим сценариям  $1,4^{\circ}C$ . При этом количество осадков существенно увеличится — на 54% и 16% к концу столетия для IS92a и IS92c соответственно. К середине столетия увеличение осадков составит 37 и 18%.

Все это говорит о том, что начавшееся в конце XX в. потепление, скорее всего, сохранит свою тенденцию в течение всего столетия и, возможно, будет сопровождаться существенным увеличением количества осадков. Правда, в отношении осадков выводы следует делать более осторожно, так как фактически наблюдавшиеся изменения в XX в. и сценарии на нынешнее столетие, дают большую неоднородность поля осадков по территории и высотным зонам.

Исходя из выше изложенного, можно сделать вывод, что в будущем следует ожидать увеличения

прорывоопасности горных озер. Такой прогноз обусловлен, в первую очередь, увеличением таяния льда и снега как за счет чисто температурного фактора, так и радиационных условий, что нарушит равновесие в системе «климат — озеро» с возможным таянием вечной мерзлоты, разрушением моренных плотин и дополнительными ливневыми поступлениями в озера больших объемов воды. В этих условиях появляется настоятельная необходимость детального изучения возможных региональных колебаний климата и их влияния на развитие прорывоопасных озер.

## Влагообеспеченность

Атмосферные осадки, как и температура воздуха, относятся к одной из наиболее важных метеорологических величин, являясь основным источником увлажнения суши. Количество атмосферных осадков определяется в основном орографическими условиями и циклонической деятельностью.

При анализе изменений годовых сумм осадков выявлено их значительное колебание во времени и пространстве, и выделяется ряд очень сухих и очень влажных периодов.

Наиболее сухим для всех высотных уровней было десятилетие 1941–1950 гг., а до 1960 г. наблюдался влажный период. Далее, до 1990 г., чередовались отдельные положительные и отрицательные годовые аномалии, затем продолжилось увеличение

Таблица 5. Сценарии потепления ( $\Delta T$ ,  $^{\circ}C$ ) за год и по сезонам (модель HadCM-2).

Сценарий выбросов	Сезон 2050 г.					Сезон 2100 г.				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
IS92a	1,5	1,3	1,4	1,5	1,4	3,2	2,6	3,1	3,2	3,0
IS92c	1,5	1,2	1,5	1,5	1,4	2,4	1,8	2,6	2,6	2,4

Таблица 6. Сценарии изменения осадков ( $R$ ) за год и по сезонам (модель HadCM-2).

Сценарий выбросов	2050 г.					2100 г.				
	зима	весна	лето	осень	год	зима	весна	лето	осень	год
IS92a	1,26	1,17	1,64	1,41	1,37	1,46	1,22	1,84	1,64	1,54
IS92c	1,15	1,09	1,25	1,23	1,18	1,26	1,09	1,06	1,24	1,16

количества осадков. Пик положительных аномалий пришелся на 1999 г., в дальнейшем наступил период с аномально низким количеством осадков.

Годовые колебания в количестве осадков в значительной мере связаны с изменением общей циркуляции атмосферы и могут быть значительны. Для всей территории Кыргызстана экстремально засушливым был 1971 г. с дефицитом количества осадков около 40%.

Для районов, расположенных до 2500 м над уровнем моря, необычно влажным оказался 1969 г., когда сумма осадков превысила норму более чем на 60%. В высокогорьях наибольшее количество осадков выпало в 1953 г. (150% от нормы), хотя и 1969 г. для данной зоны также был аномальным: сумма осадков превысила норму на 40%.

Несколько иная картина наблюдается в трендах осадков. До 90-х годов XX в. наблюдалось в основном тенденция снижения осадков, а затем, в последние 15 лет прослеживается тенденция осадков для большей части территории.

Климатические данные представляют собой одну из наиболее важных информации при стратегическом планировании природопользования и охраны окружающей среды. Изменения в одной части климатической системы могут иметь последствия, которые характеризуются тенденцией усиления с течением времени. Хотя в настоящее время изменение климата носит еще преимущественно естественный характер, под воздействием деятельности человека оно может быть нарушено и возможно превалирование антропогенного фактора.

## Характер стока горных озер

Сток воды в горных озерах происходит в трех формах:

- 1) поверхностный — путем перелива воды через гребень плотинной перемычки (плотинная перемычка — это самый пониженный относительно зеркала воды в озере участок плотины) при подъеме уровня воды в озере выше этого гребня;
- 2) подземный — путем фильтрации и струйного течения через внутриледниковые,

внутриморенные и подземные каналы стока;

- 3) смешанный — путем одновременного действия поверхностного и подземного стоков.

Озера каждого генетического типа имеют все вышеперечисленные формы стока. В развитии ледниковых (кроме внутриледниковых), моренно-ледниковых и завальных озер подземная форма стока свидетельствует о более ранней стадии, на которой находится озеро. На конечном этапе развития озера этих типов обычно имеют поверхностный сток. Исключением являются озера термокарстового моренно-ледникового подтипа, которые по мере старения переходят в моренные озера замкнутых (бессточных) котловин (подобных оз. Чаиш-Нижнее на северном склоне Кыргызского хребта).

## Зависимость питания и стока горных озер от гидрометеорологических условий

Накопление воды в озере зависит от гидрометеорологических условий, складывающихся в бассейне его питания. Эти условия определяются рядом факторов:

- температура воздуха и воды в озере в период наполнения озерных ванн;
- количество осадков, выпадающих в бассейне питания озера;
- положение нулевой изотермы в теплый период года;
- величина абляции ледников и снежников.

Роль каждого из вышеперечисленных факторов в питании озер различных типов еще далеко не выяснена, так как для этого нужны дорогостоящие режимные наблюдения. Поэтому при оценке значения каждого фактора в питании озера водой чаще приходится ограничиваться качественными и реже количественными критериями.

Влияние температуры воздуха и воды. Повышение температуры воздуха обуславливает увеличение таяния ледников и снежников и вызывает этим рост водопитока в моренно-ледниковые озера и подъем уровня воды в них.



Иная картина наблюдается на завальных озерах. Уровень воды в них почти не имеет суточных колебаний. Подъем или падение его происходит в течение нескольких суток, что свидетельствует о зависимости уровня не от среднесуточных температур воды и воздуха, а, вероятно, от пентадных или среднедекадных температур.

Количество осадков, выпадающих в бассейне питания озера. От количества осадков зависит водоприток в озеро. Однако эта зависимость проявляется в сложной форме. Только на некоторых завальных озерах выпадение ливневых дождей вызывает непосредственный подъем уровня воды в них. В питании таких озер большая роль принадлежит временно действующим потокам. Чаще всего выпадение осадков сопровождается понижением температуры воздуха, что обуславливает понижение уровня воды в озере. Особенно это заметно на ледниковых, моренно-ледниковых, моренных и ригельных озерах.

В зимний период горные озера находятся под льдом, и влияние осадков на водоприток в них проявится лишь в весенне-летнее время, после таяния годовых запасов снега.

Положение нулевой изотермы в теплый период года. От положения нулевой изотермы зависит размер площади стока талых вод. Чем выше уровень нулевой изотермы, тем больше ледников и мерзлых пород будут охвачены таянием, тем больше расход потоков талых вод, тем больше водоприток в озеро. Особенно тесно с нулевой изотермой связано наполнение ледниковых и моренно-ледниковых озер, а значит и их прорывоопасность. Анализ прорывов ледниковых и моренно-ледниковых озер за последние 50 лет показывает, что прорывоопасность озер значительно возрастает при подъеме нулевой изотермы до 4500–5000 м.

Величина абляции ледников и снежников. Наблюдения за колебаниями уровня воды в горных озерах показали, что в облачные дни, когда солнце закрыто тучами, уровень воды в озерах падает. Особенно заметно это проявляется на ледниковых и моренно-ледниковых озерах, менее заметно на моренных, ригельных и завальных. Падение уровня воды связано с уменьшением водопритока в озеро в годы с низким уровнем таяния льдов и снежников.

### 8.3. Влияние геодинамических процессов на формирование и развитие горных озер

Геодинамические процессы наиболее интенсивно проявляются в горных районах, где значительная расчлененность рельефа и высокая сейсмическая активность способствуют образованию гравитационных деформаций на склонах. Самый яркий пример действия геодинамических сил на природную среду — это образование Сарезского озера в результате землетрясения в 1911г. Вот уже 95 лет угроза прорыва этого озера висит над долиной р. Бартанг. До сих пор никто с уверенностью не может сказать, устойчива плотина или нет, произойдет спуск Сарезского озера естественным путем или спуск воды из него будет катастрофическим и приведет к огромному числу жертв (только в долине р. Бартанг проживают 17 000 человек).

Гравитационные деформации склонов (оползни, обвалы и др.) при определенных условиях могут формировать вторичные перекрытия в местах уже прорванных плотин или при прорыве их водным потоком. Кроме того, при наличии гравитационных деформаций склонов по периметру озера может возникнуть ситуация перелива воды через плотину с частичным или полным ее разрушением и формированием катастрофического паводка (такой сценарий особенно вероятен при сильных землетрясениях). Поэтому изучение горных склонов по периметру озер имеет большое значение. К сожалению, этот вопрос часто не рассматривается. В лучшем случае даются рекомендации по детальному изучению берегов того или иного озера. С другой стороны, иногда по периметру озера выявляется необоснованно много гравитационных деформаций склонов, которые таковыми не являются. Например, при обследовании берегов

Сарезского озера каменные глетчеры и моренные толщи на его берегах некоторыми исследователями были отнесены к оползням, которые при сходе в озеро могут вызвать образование волны и перелив воды через плотину с ее последующим разрушением. При таком подходе практически все горные озера можно отнести к прорывоопасным. Поэтому при изучении гравитационных деформаций склонов необходимо применять комплексный подход с привлечением широкого круга специалистов.

В целом, при экстремальных условиях (сильные землетрясения, аномально интенсивные атмосферные осадки, резкое повышение температуры) практически все горные озера (за исключением ледниково-котловинных) являются прорывоопасными, поэтому во всех густонаселенных горных долинах, которые в верховьях имеют озера, необходимо определить зоны возможного поражения катастрофическим паводком и принять меры для уменьшения риска от его воздействия.

## 8.4. Влияние оледенения на формирование и развитие горных озер

В последнее время установлено, что в горах Центральной Азии в позднем плейстоцене ( $Q_{III}$ ) сформировалось горно-долинное полупокровное оледенение центрами его, откуда выдвигались долинные ледники [14]. Мощность ледников в этот период достигала 2,5 км. Такая масса камнесодержащего льда оказывала огромное воздействие на горные склоны долин, превращая V-образные долины в троговые, то есть U-образные. Там, где было «тело» ледника, образовались крутые сплаженные склоны, на которых в благоприятных местах остался чехол морены, который плащеобразно покрывает эти склоны. Впереди себя ледник обычно имел вал напора, содержащий хаотическое нагромождение обломков различного размера, иногда со скальными отторженцами значительных размеров (до 20–50 м в поперечнике). При деградации оледенения этот вал напора оставался на месте, формируя

перемычки на днищах долин. Например, в долинах Памира насчитывается до 6 таких валов напора. Гряды, слагаемые этими осадками, достигают в высоту 100–150 м, при протяженности до 5–6 км (долина р. Муксу в приустьевой части). Гряды асимметричны. Порой они слагают серию подобных гряд, разделенных ложбинами, понижающихся внутрь «языковой» части (например, приустьевая часть долины р. Шитхарв в долине р. Пяндж). Многие исследователи принимают такие валы за обвальные образования, иногда затрудняясь определить, откуда произошел обвал и в таком случае называют сразу оба борта долины (например, Маргузорское озеро (фото 6) Очень часто в передней, «языковой» части ледника (цунговый бассейн) образовывались озера, которые в зависимости от строения перемычки (наличия погребенного льда, состава обломков и их размера, количества мелкоземистого заполнителя) существовали в то или иное время. При размыве перемычки, если он проходил у подножия склона, при благоприятных условиях образовывались гравитационные смещения масс пород (будем их называть обрушениями, так как единой общепринятой классификации, понятной всем специалистам нет), которые заново перекрывали долину и вновь образовывали озеро (к такому типу относятся озера Яшилькуль, Зардев, Риваккуль) (фото 7, 8). У некоторых озер происходил размыв моренной перемычки до определенного предела и затем прекращался из-за наличия в месте размыва крупных глыб коренных пород или выступа скальных пород. В таком случае озеро сохранялось, но уже в меньших размерах (например, озера Ойкуль и Друмкуль в бассейне р. Шахдара). В большинстве случаев сток из таких озер осуществляется путем фильтрации через плотинную перемычку.

Так как оледенение носило пульсационный характер, то на фоне общей деградации оледенения происходили периодические пульсации или вспышки образования ледников, которые приводили к наступанию ледников, но уже в меньших размерах. Каждая такая пульсация заканчивалась образованием конечных валов морен в долинах рек или обширных лопастных «языков» в широких долинах основных рек. Конечные валы морен при выходе из боковых притоков в основную долину образовывали плотинные перемычки в узких долинах рек, за которыми формировались громадные озера (например, Кударинский ледник перекрывал р. Мур -

Н. Р. Ищук

## Каменные глетчеры в Таджикистане

Каменные глетчеры являются своеобразной формой проявления криогенных процессов в горах. Они подразделяются на горно-долинные (фото 10) и присклоновые (фото 11).

Горно-долинный тип – это скопление обломков, выползающих из цирков или каров в виде длинных (до 3 км) «языков». Относятся к ряду мерзлотно-гляциальных форм рельефа. Одним крайним членом ряда является погребенный под обломками горных пород ледник, другим – сцементированный инфильтрационным льдом крупнообломочный материал обвалов и осыпей. Имеет хорошо выраженные текстуры течения на поверхности и, как правило, крутой (до 350–450) конец «языка». Генезис не ясен. Автор относит их к гляциальному типу.

Присклоновые каменные глетчеры возникают у крутых трещиноватых скальных склонов и иногда, сливаясь между собой, образуют довольно протяженные (до 1-2км) шлейфы. Строение их аналогично горно-долинным каменным глетчерам. Могут образовывать длинные «языки», стекая в ложбины и промоины.

В большинстве случаев каменные глетчеры представляют собой сложные образования, состоящие из нескольких каменных глетчеров («ступеней»), следующих друг за другом или наложенных один на другой, насчитывающих порой 6 - 7 и более крупных генераций. Спереди и с боков каменные глетчеры ограничены довольно крутыми уступами (угол естественного откоса и даже круче) с относительной высотой от 1–2 до 40–50м.

Поверхности каменных глетчеров покрыты грубообломочным материалом, порой до нескольких метров в поперечнике, в реликтовых глетчерах затагнутого мелкоземом.

Выползая из долин-притоков основных долин или из каровых ниш могут перегораживать русло реки и образовывать озера (фото 12). Также каменные глетчеры могут «вползти» в существующее озеро и разделить его на две части. Устойчивость перемычек, образованных каменными глетчерами, зависит от содержания в них льда: чем его больше, тем неустойчивее плотина.

габ), которые затем прорывались, так как конечные морены содержали много льда, что вызывало катастрофические паводки. В долинах основных рек Памира сохранились следы существования таких озер в виде озерных бенчей. В центре лопастных «языков» в широких долинах образовывались озера, некоторые из которых сохранились и в настоящее время (оз. Карадара у перевала Харгуш, озера Чаканкуль и Кукджигит).

Формирование и деградация такого мощного ледяного покрова, причем за относительно короткое время (30–35 тыс. лет) привели к нарушению изостатического равновесия и вызвали резкое увеличение сейсмических сотрясений. Повышение

сейсмической активности после относительно быстрого таяния льда, большая раздробленность горных пород и значительное уменьшение ледяного покрова, выполнявшего роль заполнителя речных долин, привели к резкой активизации гравитационных смещений на склонах. Долины еще больше задавливаются гравитационными блоками, становятся уже и извилистее. Далее формируются мощные толщи подпрудных, селевых и оползневых отложений, образующих многочисленные озера в речных долинах, плотины которых впоследствии размывались и уничтожались. Некоторые реки, которые ранее изменили свои русла, вернулись на «брошенные» участки, некоторые так и продолжают течь в каньонообразных новых долинах

(например р.Бартанг после слияния рек Мургаб и Кудара). В результате создается несоответствие облика речных долин и мощности рыхлых отложений в их днищах (фото 9). При отступании ледников образовались озера, некоторые из которых прекратили свое существование, другие остались до настоящего времени. При уменьшении толщи современных ледников наблюдается такая же картина, то есть происходит образование новых горных озер, плотины которых состоят из ледосодержащих отложений. Такие плотины очень неустойчивы, легко размываются и являются потенциальными источниками гляциоселей.

## 8.5. Типы плотин горных озер

Сложность определения типа плотин заключается в том, что большинством исследователей характеризуются их исходя из внешнего облика, фактически не исследуется внутреннее строение слагающих масс пород. Вследствие этого возникают разные толкования в определении типа плотин.

На основе геоморфологических исследований Таджикистана и оледенения Памира [14] предлагается выделять следующие основные типы плотин, за которыми формируются горные озера.

1. Плотины тектонического типа довольно редки, так как требуют наличия специфических геологических условий: грабена или рифта, крутого тектонического уступа. Наиболее ярко тектоническое происхождение озер в Таджикистане демонстрирует собой оз. Каракуль на Восточном Памире (фото 13).

2. Плотины завального типа образуются в результате перекрытия русла реки гравитационными деформациями склонов: обвалы, оползни, обрушения горных пород. Наиболее яркие представители этого типа в Таджикистане — Сарезское озеро (фото 14) и оз. Искандеркуль (фото 15).

3. Композитные плотины образуются при сочетании двух видов перекрытий: моренные отложения (в основном это конечные гряды морен с валами напора) и гравитационные деформации склонов. Первоначально, как правило, образуется моренное перекрытие, которое затем может размываться, и озеро спускается целиком или частично (например, оз. Яшилкуль. Если при спуске озера происходит подмыв склона, то образуется гравитационная деформация его и создается вторичное перекрытие, за которым вновь образуется озеро (оз. Зардев в бассейне р.Шахдара (фото 16).

4. Моренные плотины образуются в результате формирования моренного рельефа, то есть сочетания моренных валов, гряд, западин. Это самый многочисленный тип плотин. Находятся повсеместно на высоте более 2500 м над уровнем моря, где распространены моренные отложения. Примерами в Таджикистане могут служить озера Друмкуль (фото 17), Куликалон (фото 18), Маргужор (фото 19), Нофин. Большинство озер данного типа, образованных конечными грядами ледников после их деградации, многие исследователи относят к завальным, что является серьезной ошибкой, так как не позволяет правильно судить об их развитии и устойчивости плотины.

5. Плотины, образованные движениями каменных глетчеров или селями из боковых притоков в основные долины. (Примером таких образований является оз. Харкуль в бассейне р. Шахдара (фото 20). В горах Таджикистана распространены в основном плотины, образованные каменными глетчерами (например, оз. Хавраздара в бассейне р. Танымас (фото 21).

Кроме озер образованных вышеперечисленными типами плотин, существуют еще два типа (безплотинные), появление которых обусловлено деятельностью ледников:

1. Термокарстовые озера образуются на «теле» ледника или в толщах моренных отложений при наличии в них погребенного льда. Они не имеют ярко выраженных плотин. Образуют преимущественно овальные изометричные формы и характеризуются небольшими размерами (фото 22, 23). Являются наиболее многочисленной группой в местах распространения современных ледников.

А.А. Яблоков

## Пульсация ледника Медвежий

### 1963 год

Ледник увеличился в длину на 1700 м, по площади – на 1,1 км<sup>2</sup>, объем вынесенного льда составил 140 млн. м<sup>3</sup>. К 18 июня 1963 г., в подпрудном озере накопилось 21 млн. м<sup>3</sup> воды, она пробилла себе путь под ледяной плотиной, и вниз по р. Ванч устремился селевой поток с расходом до 2 тыс. м<sup>3</sup>/с – это в 7 раз больше максимального расхода воды р. Ванч в разгар таяния снегов и ледников! Общий ущерб составил более 1,5 млрд. р. Жертв не было. Через полтора суток в озере осталось всего 3 млн. м<sup>3</sup> воды, туннель под ледяной плотиной обвалился, началось новое наполнение природного водохранилища. К концу июня набралось 15 млн. км<sup>3</sup> воды, произошел новый прорыв, однако он был значительно слабее первого.

### 1973 год

На этот раз пульсирующий ледник удлинился на 175 м больше, чем в 1963 г., высота его передней части достигала 200 м, а объем вынесенного льда составил 184 млн. м<sup>3</sup> – это был самый мощный из всех его «бросков». К 19 июня, когда в озере накопилось 27 млн. м<sup>3</sup>, а его глубина достигла 110 м, произошел прорыв. Максимальный расход воды достигал почти 1 тыс. м<sup>3</sup>/с. При этом уровень р. Ванч в райцентре поднялся на 3 м, уровень р. Пяндж у г. Калайхумб (180 км от ледника) – 1,5 м. После прорыва плотины ситуация повторилась:

когда в озере осталось 3 млн. м<sup>3</sup>, туннель закрылся, озеро вновь наполнилось, и 7 июля 1973 года произошел второй прорыв. При этом расход селя достиг 2 тыс. м<sup>3</sup>/с, уровень воды в р. Ванч поднялся на 6 м. Однако и на этот раз значительного ущерба сель не причинил, так как люди научились с ним бороться.

### 1989 год

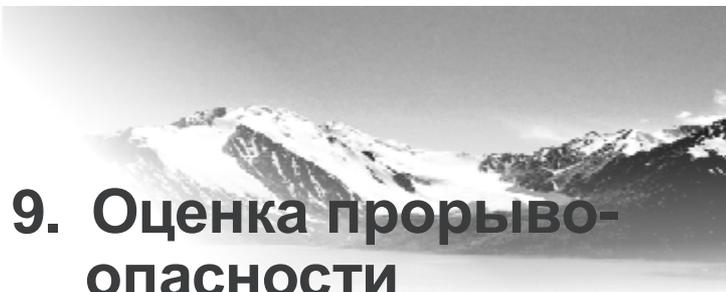
Во время этого «броска» ледник Медвежий продвинулся на 1,2 км, увеличился по площади на 0,8 км<sup>2</sup>, объем вынесенного льда составил около 80 млн. м<sup>3</sup>. Но высота ледяной плотины оказалась значительно ниже обычной, поэтому подпрудное озеро было меньше прежних озер, его прорывы происходили неоднократно и имели небольшую величину. Наполнение озера началось 16 июня, а уже 26 июня произошел первый прорыв с расходом 60 м<sup>3</sup>/с. Объем воды в озере к этому времени едва достиг 4 млн. м<sup>3</sup>. Второй прорыв с расходом 120 м<sup>3</sup>/с произошел в ночь с 27 на 28 июня. Такие сели проходили по р. Ванч практически незаметно. Максимального объема в 6,1 млн. м<sup>3</sup> озеро достигло к 5 июля, но при прорывах из ледяного туннеля вырывалось не более 50-60 м<sup>3</sup>/с. Эти прорывы никакого ущерба не причинили.

При следующей подвижке в 2001 – 2002 г. ледник Медвежий не перекрывал долину Абдукагора, озера не образовывалось.

2. Ледниково-котловинные озера образуются на плоскогорьях, где во время оледенения формировались ледниковые покровы (так называемые центры оледенения), или в днищах обширных долин. Наиболее крупными из них на территории Таджикистана являются озера Ранкуль и Шоркуль, Турумтайкуль (фото 24), Зарошкуль, Сассыккуль.

Другая причина образования горных озер, которой уделяется недостаточного внимания — это пульсирующие ледники. В Таджикистане на конец 1980 г. насчитывалось 29 пульсирующих ледников. Они периодически активизируются и начинают двигаться, выдвигаясь в основные долины и образуя запруды, которые легко размываются при

накоплении определенного количества воды в озере. Причем, образование запруд может происходить неоднократно в короткий промежуток времени, и прорыв каждой такой запруды приводит к катастрофическому паводку, который трансформируется в селевой поток. Яркий пример такого пульсирующего ледника — это Медвежий в бассейне р. Ванч (фото 25). На наш взгляд, регулярные пульсации этого ледника связаны со строением его области питания и транзита. Ледниковый цирк оканчивается довольно высоким и крутым ледопадом. Когда в цирке накапливается избыточное количество льда, он начинает двигаться, так как при определенной мощности лед приобретает пластичные свойства. Масса льда выдвигается на уступ и обрушивается вниз на «тело» ледника, которое в результате пригрузки упавшей массой также начинает двигаться. Подтверждение этому мы находим на примере ледника Российского географического общества (РГО), который находится рядом с ледником Медвежий. В начале 2005 г. на одном из боковых ледников РГО сошла ледниковая лавина, которая вырвалась на «тело» ледника РГО и пригрузила его (фото 26). В результате этого при замерах в 2005 г. было установлено, что ледник РГО начал двигаться.



## 9. Оценка прорывоопасности горных озер. Методы оценки

Прорывоопасность горных озер С.А. Ерохин и О.А. Подрезов оценивают по трем категориям.

1 категория — озеро находится на стадии прорыва и требуется проведение защитных и профилактических инженерных мероприятий для предупреждения возможных катастрофических последствий;

2 категория — озеро приближается в своем развитии к стадии прорыва, однако непосредственной угрозы в это время нет; на озере должны быть поставлены режимные наблюдения;

3 категория — озеро имеет предпосылки к прорыву в будущем, однако в настоящее время оно безопасно. Озеро должно обследоваться ежегодно в процессе аэровизуальных наблюдений.

Оценка прорывоопасности озер по категориям позволила выработать рекомендации по устранению или уменьшению опасности прорывов озер. Рекомендации сводятся к следующему:

1. Проведение наземного обследования плотин наиболее прорывоопасных озер с целью определения механизма прорыва и расчета расхода прорывного потока.
2. Обследование селевых очагов, вдоль русла прорывного потока.
3. Профилирование селеопасных горных долин с целью определения зон селевого и паводкового поражения.
4. Проведение различного рода профилактических мероприятий для недопущения переполнения озера.
5. Строительство селеотводящих дамб;
6. Строительство селехранилищ и защитных плотин.

Особенности оценки прорывоопасности озер каждого генетического типа рассматриваются на примере конкретных, наиболее типичных озер.



## 9.1. Модели прорывов горных озер. Определение расхода прорывного потока

Для определения расхода прорывного потока необходимо иметь представление о механизме прорыва озера, а также знать значения ряда расчетных параметров, характеризующих строение плотины и ванны озера. Прорывы озер разнообразны по характеру, однако по главному механизму сброса воды из озера через «тело» плотины прорывы разделяются на два типа: подземный и поверхностный. По модели первого типа сток воды происходит через подземный канал (возможно, разветвленную сеть каналов) в «теле» плотины озера. По второй модели, сток воды происходит переливом через гребень плотины на участке ее перемычки с эрозионным размывом последней.

Прорыв озера подземным путем. При таком механизме прорыва для определения объема прорывного потока используется модель разветвленного трубопровода, составленного из относительно коротких труб различного диаметра и шероховатости с многочисленными сужениями, расширениями и поворотами. При таком строении каналов стока местные и путевые гидравлические сопротивления приводят к значительным потерям энергии потока, что проявляется в уменьшении его скорости и, соответственно, уменьшении расхода. Чем длиннее подземный канал стока, тем меньше расход прорывного потока. Действительно, наблюдаемые нами прорывные потоки в устьях подземных каналов стока, в основном, не превышали величину  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ ., редко достигая  $20\text{-}30 \text{ м}^3/\text{с}$ . Расход прорывного пото-

ка воздействует на борта и кровлю канала стока. Характер этого воздействия, в основном, эрозионно-размывающий, однако к нему добавляется термокарстовый процесс.

Если расход прорывного потока превышает некоторое критическое значение, то его воздействие на канал стока может оказаться настолько значительным, что начинается разрушение последнего. В этом случае происходят просадки плотины озера вдоль канала стока, а на гребне плотинной перемычки образуется проран, через который происходит прорыв озера поверхностным путем. При таком варианте расход прорывного потока увеличивается до сотен кубических метров в секунду.

Прорыв озера поверхностным путем не всегда происходит из подземного прорыва, но может сформироваться без участия подземных каналов стока. Для прорыва озера поверхностным путем необходимо образование прорана в гребне плотинной перемычки. Причины появления прорана разные: 1) просадка участка гребня плотинной перемычки над подземным каналом стока; 2) размыв плотинной перемычки при переливе воды из озера; 3) просадки плотины при землетрясении. При поверхностном прорыве скорость потока не ограничена гидравлическими сопротивлениями подземных каналов стока и поэтому достигает  $3\text{-}4 \text{ м}^3/\text{с}$ ., что способствует усилению эрозионного воздействия на плотину и разрушению последней. Большие скорости потоков, широкие и глубокие прораны стока (под эрозионным воздействием прорывного потока прораны углубляются и расширяются) обуславливают формирование мощных прорывных потоков с расходом от нескольких сотен до нескольких тысяч кубических метров в секунду.

Таблица 7. Сравнение результатов моделирования волны перелива

Объем оползня, км <sup>3</sup>	Математическая модель		Физическая модель	
	высота волн, м	объем перелива млн. м <sup>3</sup>	высота волн, м	объем перелива млн. м <sup>3</sup>
0,15	35	16		
0,3			50-60	30-50
0,6	87	47		
0,8	107	88		
0,9	115	107		
1			100-125	70-110
2	180	225	150-175	145-170



Фото 3. Моренно-ледниковое оз. Текетор на северном склоне Кыргызского хребта



Фото 4. Моренно-ледниковое оз. Петрова в верховьях реки Нарын



Фото 5. Завальное озеро Кутманкуль в верховьях бассейна р. Майлисай



Фото 6. Маргузорские озера – бассейн р. Шинг (Зеравшан)



Фото 7. Завал на оз. Яшилькуль – Восточный Памир



Фото 8. Композитная плотина оз.Зардев – долина р.Шахдара



Фото 10. Горно-долинный каменистый глетчер, выползший в основную долину.

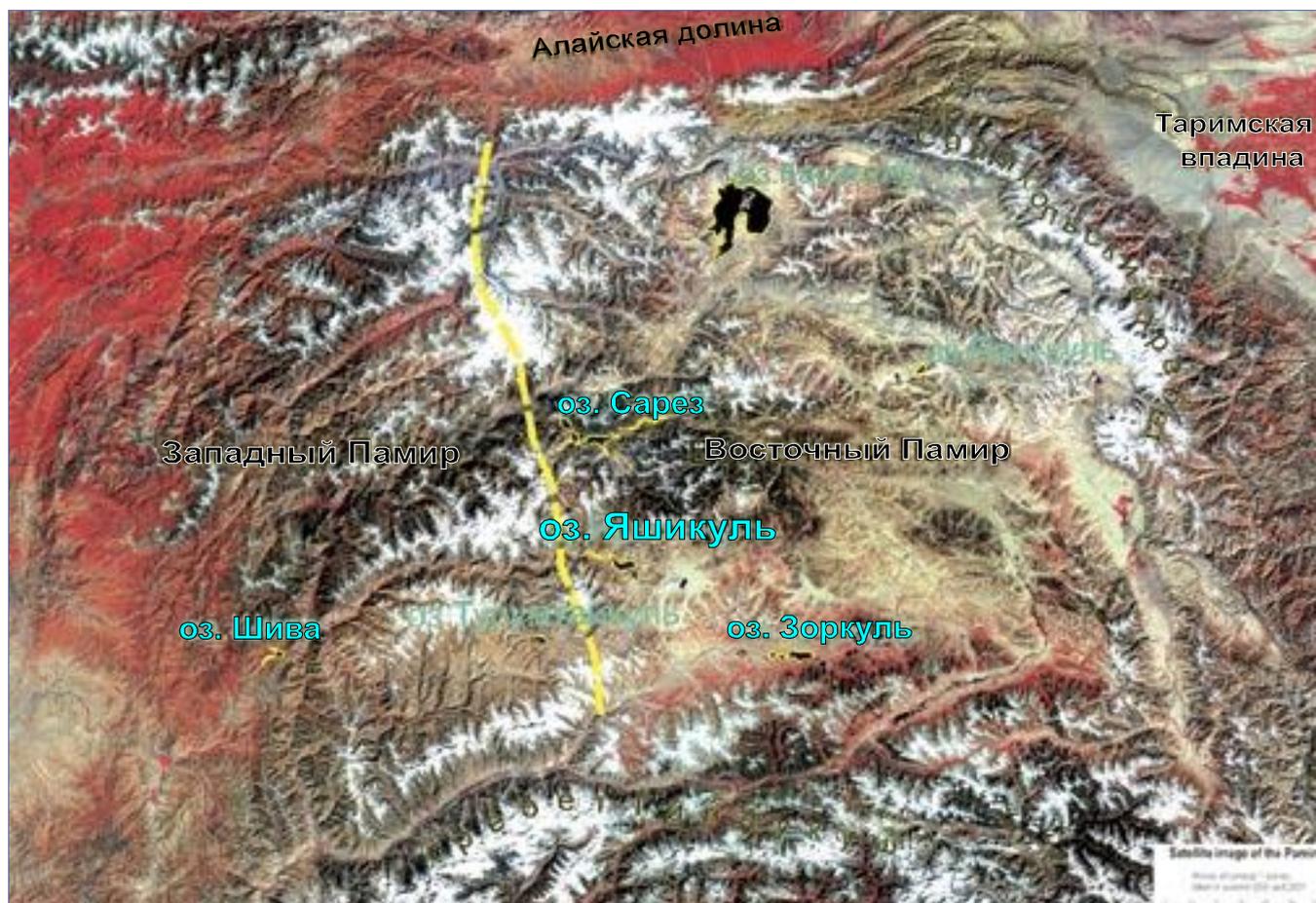


Фото 9. Памир из космоса

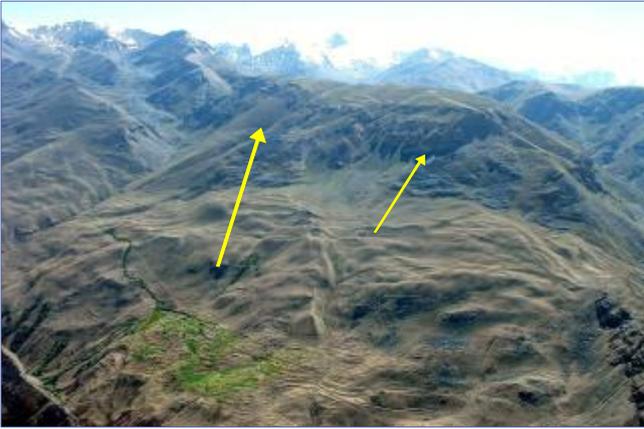


Фото 11. Присклоновые каменные глетчеры и террасы оседания древнего ледника.



Фото 14. Усойский завал на оз. Сарез

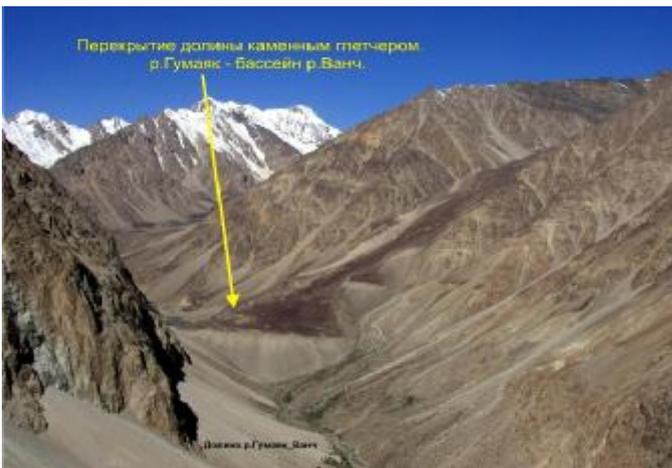


Фото 12. Перекрытие долины каменным глетчером.



Фото 15. Завал на озере Искандеркуль



Фото 13. Озеро тектонического происхождения Каракуль на Восточном Памире



Фото 16. Композитная перемычка на оз.Зардев



Фото 17. Оз. Друмкуль в бассейне р.Шахдара.



Фото 20. Композитная перемычка на оз.Харкуль



Фото 18. Озеро Куликалон среди моренного рельефа



Фото 21. Несколько каменных глетчеров, образовавших оз. Хавраздара



Фото 19. Озеро Маргузор, бассейн р.Шинг



Фото 22. Термокарстовое озеро в конечной моренной гряде



Фото 25. Очередная подвижка ледника Медвежий

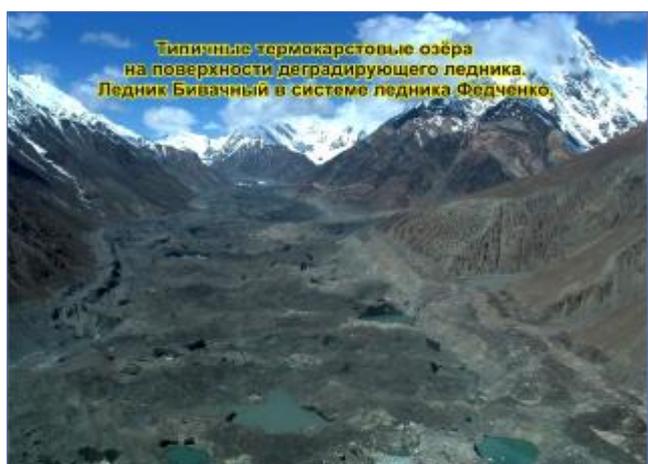


Фото 23. Серия термокарстовых озер на леднике Бивачный



Фото 24. Оз. Турумтайкуль в ледниковой котловине



Фото 26. Ледниковая лавина, сошедшая на ледник РГО

Для определения расхода прорывного потока необходимо иметь представление о механизме прорыва озера, а также знать значения ряда расчетных параметров, характеризующих строение плотины и ванны озера. Расчеты по определению прорывного расхода проводятся в соответствии с «Методикой определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер» (Методика...1998г)

В Таджикистане проведены подробные исследования по возможному прорыву Сарезского озера. Производились расчеты величины волны, которая может обрушиться на плотину, высоты паводка, который может вызвать эта волна, определение зон поражения паводком по долине р. Бартанг. Сарезское озеро служило полигоном для отработки методики расчетов прорыва естественных плотин. Кроме отечественных специалистов, аналогичные расчеты для озера производились специалистами из Швейцарской консалтинговой фирмы Stucky, которая проводила исследования по заданию Всемирного банка. Были детально проработаны варианты расположения опасных зон при расходах прорывного паводка в  $1\,000\text{ м}^3/\text{с}$  и в  $5\,000\text{ м}^3/\text{с}$ , составлены карты опасности для всех населенных пунктов долины р. Бартанг. Все расчеты основывались на величине высоты волны, которая может перехлестнуть через гребень плотины и в зависимости от этого строились модели паводка и определялись размеры зоны опасности по долине р. Бартанг. Расчеты зон поражения паводком при катастрофическом разрушении «тела» Усойского завала не производились, так как исходили из условий устойчивости самой плотины.

Исследования, касающиеся прогноза ожидаемого волнового режима в Сарезском озере, возникающего в результате внезапного обрушения в него больших масс скального грунта с его склонов, проводились институтом «Союзгипроводхоз» на физических (гидравлических) моделях и путем математического моделирования с использованием ЭВМ по программе, разработанной институтом САНИИРИ (г. Ташкент). Для построения математических моделей в работе использовались модели, описывающие движение длинных волн в открытых руслах в одномерной постановке, основанные на допущениях (гипотезах) Сен-Венана.

Результаты исследований представлены в предварительном отчете «Математическое моделирование волн вытеснения, вызванных оползновыми явлениями на Сарезском озере». Сделаны следующие основные выводы:

1. При уменьшении объема оползня уменьшается и высота волны, и объем перелива.
2. С уменьшением высоты и объема перелива уменьшается и ее энергия. Например, при уменьшении амплитуды волны со 150 до 100 и 50 м энергия уменьшается в 3 и 12 раз. Поэтому следует ожидать и меньших размывов Усойского перекрытия.
3. При объеме оползня  $0,35\text{ км}^3$  никаких серьезных последствий не будет. Если же принять в расчет максимально возможный объем оползня —  $0,9\text{ км}^3$ , то произойдет излив волны в долину р. Бартанг в объеме 70-80 млн.  $\text{м}^3$  (часть объема аккумулируется в оз. Шадау). Размыв Усойского завала может быть в пределах до 10 м; волна излива трансформируется в долине р. Бартанг.

Несмотря на проведенные исследования, расчетные модели прорыва плотины не могут быть использованы при разработке проектных мероприятий по Сарезскому озеру, так как точно неизвестно, какими грунтами и породами сложен гребень завала. А без этого невозможно оценить, на какую глубину он может быть промыт волновым переливом воды, а также его общую устойчивость от размыва.

Швейцарская консалтинговая фирма Stucky детально проработала этот вопрос и разработала соответствующие методы. Используемые специалистами этой фирмы данные можно применять для расчета воздействия паводка, вызванного волной перелива при прорыве плотин горных озер.



## 9.2. Определение зоны поражения прорывного потока

Определение границ зоны поражения прорывных потоков необходимо для проведения защитных мероприятий, устраняющих или хотя бы уменьшающих опасность прорыва горных озер. Методика такого определения основана на том, что такие процессы связанные с прорывом озер, как селеформирование, движение и взаимодействие с бортами и днищами горных долин селевых и паводковых потоков, рассматриваются в их тесной взаимосвязи как отдельные фрагменты единого многофакторного природного явления — прорыва горного озера.

Прорывной поток при движении вниз по долине охватывает либо всю ширину ее современного днища, либо его часть в зависимости от морфологии долины (уклон, ширина, наличие надпойменных террас), ее геологического строения (состав пород и отложений, слагающих борта и днище), гидрологического характера потока (паводок или сель). Следовательно, чтобы определить ширину потока, а тем самым и границы зоны поражения, необходимо учитывать морфологический, литологический и гидрологический факторы формирования прорывного потока на каждом конкретном участке горной долины. При этом роль каждого фактора в общем процессе оценивается соответствующими параметрами: морфологическим — ширина современного днища долины и ее уклон; литологическим — плотность прорывного потока; гидрологическим — расход потока.

Для определения вышеназванных оценочных параметров строятся поперечные и продольный профили долины, где представляется морфология ее днища и прилегающих к нему бортов, указывается состав слагающих их пород и отложений. По каждому поперечному профилю рассчитываются параметры прорывного потока: расход, плотность, высота. По высоте прорывного потока определяется его ширина, которая и является шириной зоны поражения на данном участке плотины. Так от профиля к профилю мы можем определить границы зоны поражения прорывного потока. Примеры таких зон приведены на рис 4.

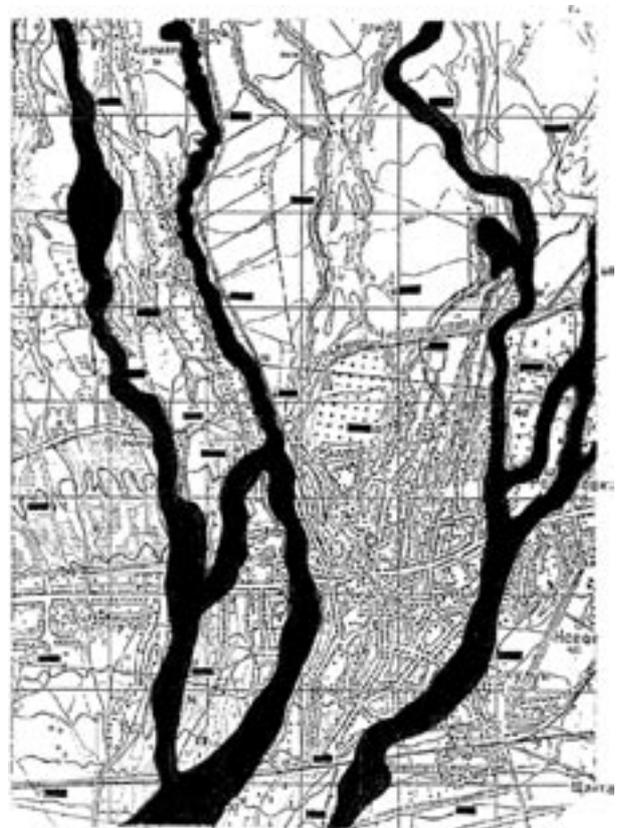
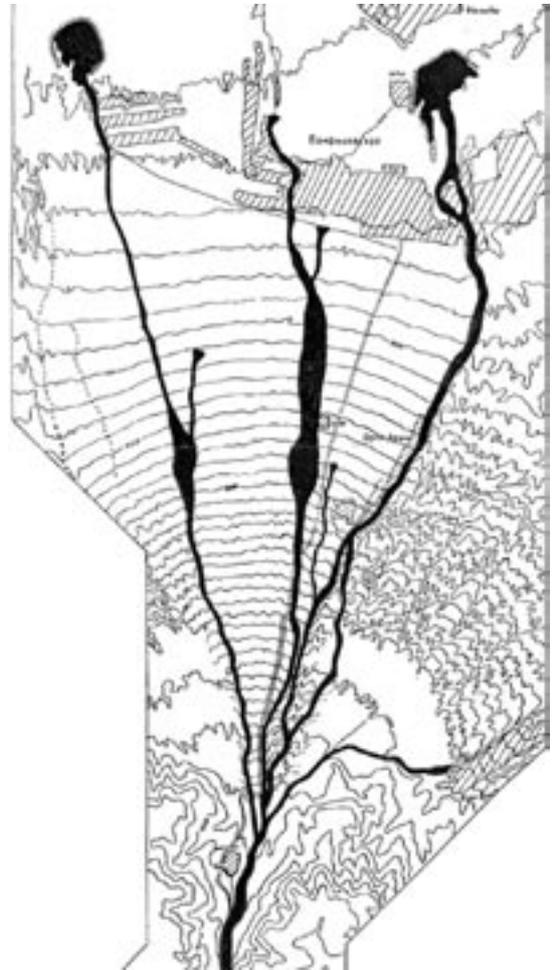


Рис 4. Зоны поражения: 1 – с. Панфиловское при прорыве оз. Джарды-Каинды; 2 – с. Сокулук при прорыве оз. Кейды-Кучкач

## Прорывоопасные озера Кыргызстана

В результате аэровизуального обследования территории Кыргызстана в 2000–2004 гг. выявлено следующее количество прорывоопасных озер:

Иссык-кульская — 66 озер (13 озер 1-й категории, 8 — 2-й).

Чуйская — 34 озера (2 озера 1-й категории, 8 — 2-й).

Нарынская — 9 озер (озер 1-й категории нет, 3 — 2-й).

Таласская — 17 озер (2 озера 1-й категории, 3 — 2-й).

Жалал-абадская — 15 озер (озер 1-й категории нет, 1 — 2-й).

Ошская — 41 озеро (3 озера 1-й категории, 4 — 2-й).

Всего: 182 озера; из них 1-й категории — 21, 2-й категории — 27.

По характеру расположения прорывоопасных озер на территории Кыргызстана выделено 10 зон их концентрации: Восточно-Терскайская — 26, Центрально-Терскайская — 17, Западно-Терскайская — 9, Кунгейская — 19, зона Кыргызского хребта (Чуйская) — 29, Талассо-Чаткальская — 20, Центрально-Таласская — 6, Восточно-Алайская — 16, Центрально-Алайская — 10 и Заалайская — 8 озер. Озера каждой зоны объединены в одну группу. Наименование групп совпадает с названием зон. Кроме 10 групп концентрации озер существует группа разрозненных озер, которые по одному или по 2-3 озера разбросаны по территории республики. В группе разрозненных озер на считается 22 озера.

### Причины повышения уровня воды в озерах

Повышение уровня воды в озерах, запруженных естественными плотинами, имеет следующие причины:

- Резкое изменение климатических условий, увеличение солнечной радиации, вследствие чего происходит таяние льда и снега в районах водосбора.
- Интенсивное таяние, в результате чего в ледяных плотинах и в «теле» ледника развиваются процессы термокарста, способствующие образованию озер.
- Интенсивные осадки, которые возникают в аномальные годы, приводящие к переливу воды через плотину.
- Снижение естественного просачивания через моренную плотину вследствие кольматации «тела» плотины глинистыми частицами, содержащимися в воде, или в результате уплотнения плотины, вызванно-

го землетрясениями и процессами уплотнения мелкозернистого заполнителя в результате его увлажнения.

### Механизмы разрушения и прорыва плотины

Плотина озера может состоять из глетчерного льда, или морены, образованной мелкообломочным материалом и крупными блоками, с ледяным ядром или без него.

Известны следующие механизмы разрушения:

- Оползень, обвал или часть самого ледника сходит в озеро и создает волну, которая переливается через плотину, и происходит ее эрозионное разрушение.
- Вынос мелкозема из «тела» моренной плотины (суффозия) фильтрующейся водой, что вызывает повышение фильтрации, про-

садки в теле плотины и, как следствие, разрушение ее эрозией.

- Формирование канала на поверхности или внутри льда в результате термокарстовых процессов (термокарст), по которому происходит катастрофический сброс воды из озера.
- Таяние ледяного ядра плотины, в результате чего происходит понижение эффективной высоты и прочности плотины.

Наиболее подвержены разрушению плотины, содержащие значительное количество льда, как в свободном виде, так и в качестве цемента. Кроме того, значительную роль в скорости размыва плотины играет гранулометрический состав «тела» плотины. Чем больше в нем мелкообломочных фракций, тем быстрее она размывается. Наличие крупноглыбовой составляющей резко снижает процесс эрозии и приостанавливает разрушение плотины (например, плотина оз. Друмкуль).

Очень опасная ситуация создается в случае расположения серии озер цепочкой вдоль долины реки, что может привести к наращиванию мощности прорывного потока по мере прохождения им каждого из озер (например, Маргузорские озера в бассейне р. Шинг).

Резюмируя вышесказанное, можно констатировать следующее. В горных территориях стран Центральной Азии преобладающая масса озер так или иначе связана с формированием и деградацией мощного оледенения, которое имело несколько стадий отступления и наступания. Межледниковых периодов, то есть когда почти все ледники исчезали, не было. Во время деградаций (стадий) оледенения образовывались озера, во время наступания ледников они исчезали. Во время следующей деградации ледников озера вновь образовывались (фото 27).

Так как наступание ледников в каждую стадию уменьшалось, то в долинах при благоприятных условиях образовывались озера, которые располагались цепочкой за конечными грядами отступающих ледников. Не во всех долинах за конечными грядами ледников сохранились озера. Некоторые из них были спущены в результате разрушения плотин (фото 28), другие сохранились благодаря дополнительному подпруживанию гравитационными деформациями склонов или строению самих моренных плотин (например, оз. Друмкуль в долине р. Шахдара).

Из всех типов горных озер наиболее опасными являются приледниковые. Одна из причин этого — отступление ледников. В концевой части ледника образуются озера, в которые иногда впол-

Таблица 8. Прорывоопасные озера в Таджикистане

Озера	Автор	Год обследования	Причина прорыва
Маргузорские	В.Д. Фоменко	1967-1968гг.	Обвалы или оползни озера
Озеро в верховьях р. Варшидздара	—  —	1967-1968гг.	Движение ледника
Немацкуль	—  —	1967-1968гг.	Обвалы с бортов
Ривакуль	—  —	1967-1968гг.	—  —
Хуумецкуль	—  —	1967-1968гг.	—  —
Друмкуль	—  —	1967-1968гг.	—  —
Зардев	—  —	1967-1968гг.	—  —
Хавраздара	—  —	1967-1968гг.	Селевой поток
Ривакуль	Ж. Шнайдер	2002-2003гг.	Прорыв 5-ти вышележащих озер
Зардев	—  —	2002-2003гг.	Оползень
Друмкуль	—  —	2002-2003гг.	—  —
Хидорджевдара	—  —	2002-2003гг.	Перелив через плотину
Шарфдара	—  —	2002-2003гг.	—  —
Даштара	—  —	2002-2003гг.	Образование нового озера
Шарипдара	—  —	2002-2003гг.	Перелив через плотину
Пишдара	—  —	2002-2003гг.	—  —



Фото 27. Валу напора движущегося ледника, за которыми при стаивании льда образуются озера



Фото 29. Вползание ледника в озеро



Фото 28. Промытая конечная гряда с валом напора в долине р.Язгулемдара

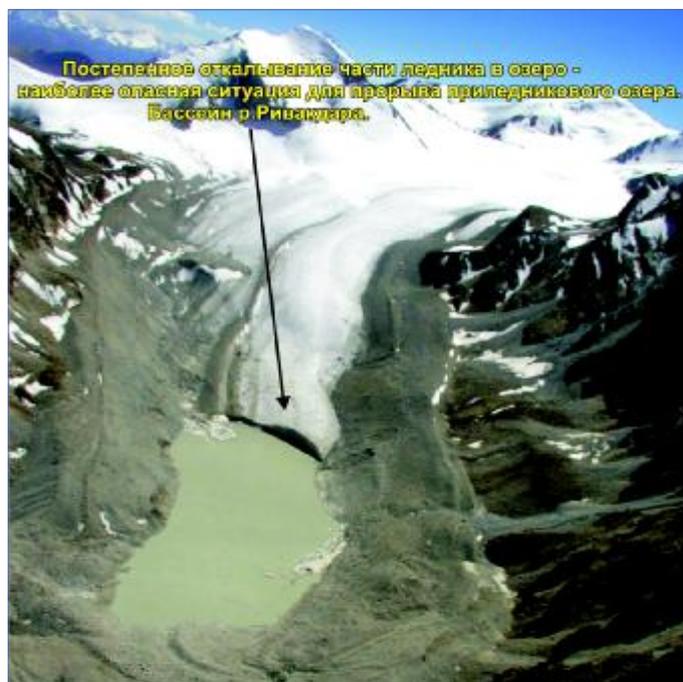


Фото 30. Ледник, от которого откалывается языковая его часть

зает (фото 29) или откалывается часть ледника (фото 30), что приводит к вытеснению воды из озера медленному или катастрофическому (как это было, например, в долине р. Даштдара в бассейне р. Шахдара в 2002 г.). Поэтому, надо уделять особое внимание приледниковым озерам как наиболее опасным.

Другой аспект прорыва горных озер, на который недостаточно обращают внимания, — это воздействие гравитационных деформаций склонов в бассейне озера. Обрушение массы грунта в акваторию озера может спровоцировать перехлест воды через плотину, что может вызвать селевой поток ниже плотины или разрушить ее, а это в свою очередь — еще более мощный паводок. Для горных озер Таджикистана этот аспект проблемы не изучался (за исключением Сарезского озера). При рекогносцировочных обследованиях горных озер [45] была определена такая возможность прорыва только для некоторых озер, и было предложено изучить их более детально.

При изучении всего материала по горным озерам Таджикистана был составлен список тех из них, которые авторы их обследовавшие считают прорывоопасными.

Необходимо отметить, что представленный список не отражает действительного положения дел, так как указанные озера детально не были изучены и все основывается на личном опыте исследователей. До настоящего времени нет четкой картины состояния горных озер, до конца не выявлены наиболее опасные из них. Существуют озера, которые не указаны на ранее составленных топографических картах, то есть появились за последние 15–20 лет и некоторые из них уже «внесли свой вклад» в стихийные бедствия. Например, в бассейне р. Шахдара (долина р. Гунт) 30 августа 2003 г. сошел сель, который разрушил тропу и мосты в долине. Этот сель был вызван прорывом приледникового озера, которого не было на топографической карте. Поэтому назрела необходимость инвентаризации всех горных озер, особенно приледниковых, на основе современных космоснимков высокого разрешения. Только после этой работы можно будет приступить к детальному изучению прорывоопасных горных озер и уже потом обосновывать предложения по устранению риска, который может возникнуть в результате их прорыва.



## 10. Принимаемые меры по уменьшению и предупреждению опасности прорывов горных озер

В СССР проводились регулярные обследования всех озер, в том числе и горных. Причем, это делалось двумя службами: геологической и гидрометеорологической. Публиковались ежегодники, книги, статьи посвященные проблемам горных озер. Оценивалась их селеопасность, возможность прорыва, опасность разрушения плотин или их стабильность. Были установлены озера, потенциально опасные для населения ниже лежащих речных долин. Но с распадом СССР эти работы были значительно сокращены или прекращены. В Таджикистане, например, на протяжении 20 лет практически не ведется работа по изучению прорывоопасности горных озер. Некоторые работы ведутся в этом направлении в Кыргызстане. В Таджикистане накоплен материал по изучению факторов формирования горных озер. Исследование четвертичных отложений и геоморфологии в 1984–1989гг. позволяет пересмотреть классификацию типов плотин горных озер и сделать вывод, что образование большинства из них связано с возникновением и распадом верхнечетвертичного оледенения. Это, в свою очередь, позволяет по-новому оценить их устойчивость и прорывоопасность. Для этого необходимы новые исследования, привлечение материалов космических съемок, использование геофизических и геологических методов обследований.

Регулярное плановое изучение горных прорывоопасных озер в Кыргызской Республике началось с 1966г., после катастрофического прорыва озера Яшинкуль в бассейне реки Исфайрамсай 18 июня 1966 г. 15 августа 1966 года вышло Постановление Совета Министров о необходимости обследования высокогорных озер Кыргызстана в целях предупреждения селевой опасности. Выполнение

этого постановления было поручено гидрометеорологической и геологической службам. За этот период до 1992 г. было обследовано около 250 озер, заложена основа мониторинга.

Мониторинг включал:

- 1) аэровизуальное обследование (с вертолета) территории республики с целью выявления озер, находящихся на прорывоопасной стадии развития. Количество облетов: 5-6 за опасный период с июня по сентябрь;
- 2) проведение наземного обследования плотин и ванн наиболее прорывоопасных озер с целью определения механизма прорыва, расчета расхода прорывного потока, оценки опасности и выработки мероприятий по ее ликвидации.

В состав наземного обследования входили следующие виды работ:

- топографическая съемка озера и его плотины;
- инженерно-геологическая съемка плотины;
- батиметрические обмеры озера;

- режимные наблюдения за колебаниями уровня озера, за притоком воды в него и стоком из него;
- геофизическое зондирование плотины;
- ураново-изотопное изучение источников питания озера.

С 1992 г. Гидрометеослужбой Кыргызстана из-за недостатка средств почти полностью прекращены работы по изучению горных озер. Их обследование на протяжении последних 14 лет (с 1992 г. по 2006 г.) проводится Государственным агентством по геологии с привлечением МЧС. Вместе с тем, эти работы носят неполный характер по объему и эпизодический по времени. С 1996 г. по 2003 г. организовывались ежегодные аэровизуальные обследования, с небольшим объемом полевых исследований некоторых озер завального типа.

Недостаточность финансовых ресурсов повлияла и на изменение методики обследования озер. Были исключены такие дорогостоящие виды исследований, как топографическая съемка, геофизическое зондирование, режимные наблюдения, ураново-изотопное опробование.

Вставка 6

Ж. Шнайдер

## Потенциальная опасность прорыва некоторых озер Памира

«Событие большого масштаба можно ожидать в результате прорыва Риваккуля, Зардева и Друмкуля. Эти три озера имеют большой объем воды и плотины с фильтрацией воды и сезонным переливом. Прорыв плотины горного озера или сход масс в эти озера вполне возможен. Вероятность прорыва плотин этих основных озер находится в диапазоне от низкой до средней, поскольку только крупное сейсмическое событие может вызвать перелив, в результате которого может произойти частичное разрушение плотины. Гляциальные озера в верховьях Ривакдары и Варшидздары (долина Гунта) имеют высокую вероятность прорыва, однако

предсказать время и масштаб прорыва невозможно. Это одна из причин, по которой эти озера считаются опасными. Следует предположить, что в случае прорыва их плотины будут полностью размыты, и озера опорожнятся. Движения масс, селевые потоки или паводковые волны, зарождающиеся на афганском берегу реки Пяндж могут нанести серьезный ущерб инфраструктуре, расположенной на таджикском берегу реки. Поэтому необходимо провести трансграничные исследования локальных и удаленных геологических угроз, зарождающихся на орографическом левом берегу реки Пяндж».

Вместе с тем, наземные обследования, основанные на результатах работ прошлых лет, еще позволяют проследить динамику развития озер в некоторых областях, таких как Чуйская, Таласская и северная часть Иссык-кульской области.

В списке прорывоопасных озер Кыргызстана, в настоящее время числится 182 озера, из них 21 относится к очень опасным (1-я категория), 27 — опасные (2-я категория) и 140 — менее опасные (3-я категория).

Кроме изучения горных озер, МЧС республики проводит противопаводковые мероприятия — обвалование русел рек, укрепление берегов рек габионами и дамбами, строительство противопослевых защитных дамб.

С 1990 г. по 2002 г. изучение озер Таджикистана не производилось. Небольшая и сравнительно кратковременная гляциологическая экспедиция 2005 г. установила обмеление восточно-памирских озер Ранкуль, Шоркуль и Сасыккуль. В середине июня 2006 г. вместе с сотрудниками Гидрометеослужбы Республики Узбекистан был совершен вертолетный облет бассейна р. Зеравшан, где были обследованы комплекс озер в бассейнах рек Шинг (Магиандарья), Зиндан (Кштут), Куликалонские озера, озера в верховьях реки Пасрударья, а также небольшие временные озера на поверхности ледников Зеравшанский, Рама и др. В этом же году было проведено пешее обследование озер Тимурдара и Пайрон в верховьях р. Каратаг. Как выяснилось, уровень воды в этих озерах за последние годы не изменился, ни одно из них не угрожает прорывом.

В 2002 г. проведено обследование последствий сошедшего селя в бассейне р. Шахдара. Прорывная волна из гляциального озера вызвала крупномасштабный селевой поток общим объемом в 1,2 млн. м<sup>3</sup> осадков, который частично разрушил кишлак Дашт и послужил причиной гибели 24 человек. Для расследования этого события были приглашены сотрудники из Института прикладной геологии (IAG-BOKU) в Вене, которые совместно с местными специалистами обследовали долину р. Дашт. Было выяснено, что причиной образования селя стало смещение в ледниковое озеро части ледника, что вызвало перелив воды из озера и образование селевого потока. В 2003 г. этой же группой специалистов были обследованы озера Юго-Западного Памира и проведена оценка их прорывоопасности [40]. Всего было классифицировано 278 озер. Прорывоопасность их оценивалась при сравнении различных космических снимков, а также данных аэровизуальных и полевых обследований.

Одновременно, были выявлены потенциальные удаленные геологические угрозы, представляющие опасность для долины р. Пяндж, очаги, зарождения которых расположены на левых притоках территории Афганистана и пока не исследованных. Сделано предположение, что они представляют большой риск для населения, проживающего в верховьях р. Пяндж.

В результате проведенных работ были выявлены критические участки (табл. 9) и предложены рекомендации по организации мониторинга за ними [40].

Таблица 9. Участки с высоким потенциалом прорывоопасности и гравитационного движения масс

Участки с высокой вероятностью прорыва гляциального озера или паводка были распределены в соответствии с типом и размером озера, максимальным расходом воды и возможным воздействием на районы, расположенные ниже по течению	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ривакдара и Варшидздара в долине р. Гунт;</li> <li>• Сежддара(Зардев) и Друмдара в верховьях Шахдары</li> <li>• Хидорджевдара, Шарфдара, Даштдара в низовьях р.Шахдары</li> </ul>
Участки с потенциальной угрозой оползней и активного проседания (глубокий гравитационный крип)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Шахдара вблизи перечисленных ниже кишлаков (в основном расположенных на южном борту долины): Шикун, Сумджев (Тавдем), Нудг, Намадрог, Даштак, Бародж, Растарез, Джорш, Миданвед, Бидиз, Шивоз, Безгин, Синдев</li> </ul>
Участки, подверженные крупным камнепадам или обвалам	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Шахдара до зоны тектонического разлома между Советобадом и Нимосом, включая притоки Баджомдара, Чандимдара, Друмдара</li> </ul>



## 11. Выводы и рекомендации

Несмотря на то, что изучение озер Центральной Азии насчитывает более чем столетнюю историю, до настоящего времени не определен достоверный перечень прорывоопасных горных озер. Комплексных исследований на предмет их прорывоопасности проводилось недостаточно. Озера оставались и остаются до настоящего времени на положении плохо изученных в плане стационарных и систематических озероведческих исследований. Совершенно отсутствуют сведения по таким видам специализированных исследований на озерах, как волнения, течения, трансформация наносов, занесение и заиление, переформирование берегов, возможность образования гравитационных деформаций склонов по периметру озера и их влияние на устойчивость плотины.

В конце прошлого века детально изучалось только Сарезское озеро, для которого разработано множество проектов по снижению риска от его возможного прорыва, правда, ни один из них так и не был реализован. Это опять же связано с недостаточным изучением самой структуры Усойского завала. До сих пор никто не может дать однозначного ответа: возможен катастрофический прорыв озера или нет.

Плановое изучение прорывоопасности горных озер Центральной Азии началось в 60-х годах прошлого столетия и продолжалось до распада СССР. Уже 15 лет практически никаких исследований горных озер не проводится. Нет их общепринятой классификации по условиям образования и потенциальной опасности. У исследователей существуют различные классификации, которые в целом близки между собой, но расходятся по некоторым доминирующим факторам и условиям образования. От правильного определения причины образования озера зависит достоверность прогнозирования его дальнейшего развития.

В горных территориях Центральной Азии образование преобладающего числа горных озер, так

или иначе, связано с формированием и деградацией оледенения, которое имело несколько стадий трансгрессии и регрессии. Глобальное потепление климата вызывает отступление и сокращение современных ледников, что, в свою очередь, приводит к образованию новых прорывоопасных озер.

После распада Советского Союза система наблюдений и прогноза за состоянием окружающей среды и динамикой развития природных явлений и объектов резко ослабла. Значительно упало финансирование государственных специализированных организаций, ответственных за проведение мониторинга природной среды. Формирование потенциала в странах Центральной Азии происходит в зависимости от преодоления экономических трудностей.

В связи с этим, страны Центральной Азии добились разной степени успеха в разработке планов по подготовке к чрезвычайным ситуациям.

В политике преодоления чрезвычайных ситуаций стран Центральной Азии в настоящее время содержится региональный механизм, действующий на основе сотрудничества стран СНГ в рамках Межгосударственного совета по чрезвычайным ситуациям при стихийных бедствиях и техногенных катастрофах, который необходимо совершенствовать.

### Рекомендации:

- Разработка единой системы оценки рисков и реагирования на возможность прорывов горных озер в рамках Центральноазиатского региона.
- Разработка интегрированных подходов к планированию действий в случаях прорыва горных озер на национальном и региональном уровнях.
- Разработка вариантов системы мониторинга за прорывоопасными горными озерами (в зависимости от наличия ресурсов).

- Создание информационной сети распространения информации среди местного населения и лиц, принимающих решения, о потенциальной угрозе прорывоопасных горных озер и возможных мерах по ее смягчению.
- Ведение системы страхования рисков при чрезвычайных ситуациях (в том числе от прорывов горных озер) на международном уровне.
- Исследование горных озер (создание цифровой базы данных, классификация возможных удаленных угроз, документирование крупных гравитационных движений масс и т. п.) с целью создания их единой классификации, определения прорывоопасности, разработки предложений по снижению риска от их воздействия на окружающую среду и население.
- Инвентаризация геологических объектов и явлений, потенциально представляющих удаленные геологические угрозы для окружающей среды и населения (моренные плотины, гляциальные озера, оползни и т.п.) и создание базы данных в ГИС-программе.
- Изучение горных озер и разработка предложений по использованию их потенциала в ирригации, питьевом водоснабжении, здравоохранении, горном тематическом туризме.
- Исследование взаимосвязи динамики развития оледенения и геодинамических процессов на формирование и устойчивость горных прорывоопасных озер.
- Подготовка кадров и обмен опытом по исследованию прорывоопасных озер и принятию превентивных мер.
- Разработка единых методологических подходов в определении и применении модели прорывов горных озер, расхода прорывного потока и его зоны поражения
- Создание Регионального горного центра, в том числе по комплексному изучению прорывоопасных горных озер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айтматов И.Т., Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геодинамические факторы массового развития оползней на склонах Ферганского хребта — Ташкент: «Геориск», 2003. С 12–14.
2. Айрапетьянц С.Э., Баков Е.К. Морфология ледникового озера Мерцбахера и механизм его катастрофических прорывов. //С. Некоторые закономерности оледенения Тянь-Шаня. — Фрунзе: Илим, 1971 — С. 75–84.
3. Атлас Киргизской ССР. Т.1. Природные условия и ресурсы.— Москва: ГУГК СССР, 1987. — 157 с.
4. Гостунский А. Гидрология Средней Азии,—1996.
5. Горы Кыргызстана. —Бишкек: Технология, 2001.— 31-9 с.
6. Горы мира. Глобальный приоритет/ Под ред. Б.Мессерли, Дж.Д.Айвз. Ноосфера.—М.: 1999— 450 с.
7. Доклад о человеческом развитии в Центральной Азии. ПРООН, 2005г. Доклад первого заместителя министра по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне Республики Таджикистан генерал-майора А. Раджабова на Международной конференции по сокращению риска стихийных бедствий в Китайской Народной Республике 27–29 сентября 2005 г.
8. Дергачева И.В., Дегтярев Д.С.. Информационная система «Сели и прорывоопасные озера Узбекистана» — Ташкент, Геориск, 2003. С. 173–175.
9. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Пульсирующие ледники. — Л.: Гидрометеиздат, 1982.—192 с.
10. Ерохин С.А. Гляциальные озера как гидроэкологические объекты и факторы их прорывоопасности. //Вода и устойчивое развитие Центральной Азии. Фонд “Сорос–Кыргызстан”, 2001. — С. 93–98.
11. Ерохин С.А. Прорывоопасность озера Петрова. //Изучение гидродинамики озера Иссыккуль с использованием изотопных методов.— Бишкек: Илим, 2006. С.132–140.
12. Зуфаров В.Т. Законодательные основы гражданской защиты в Республике Узбекистан. — Ташкент, Геориск, 2003. С 49–54.
13. Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий // Метеорология и гидрология. — Спб., 2001. №5. С. 5–21.
14. Ищук Н.Р. Использование космоснимков при геоморфологическом картографировании рельефа// Исследование природной среды космическими средствами. Вып.2 — Душанбе, 2005. С. 47–68.
15. Каримов И.А. Узбекистан на пороге XXI века: угрозы безопасности, условия прогресса и безопасности. — Ташкент, 1997.
16. Кузмиченок В.А. Математико–катрографическое моделирование возможных изменений водных ресурсов и оледенения Кыргызстана при изменении климата // Вестник Кыргызско–Российского славянского университета. — Бишкек, 2003. №6. Т.3. С.53–64.
17. Материалы Международной конференции «Использование географических информационных систем и стимуляционных моделей для исследования и принятия решений в бассейнах рек Центральной Азии». 2004.
18. Мониторинг, прогноз и подготовка к реагированию на возможные активизации опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики и приграничных районов с государствами Центральной Азии. — Бишкек: Текник, 2006. —618 с.
19. Молчанов Л.А. Озера Средней Азии. — Ташкент, Среднеазиатский гос. ун–т, 1929. —83 с.
20. Национальный доклад об охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов за 2002–2004 гг. Госкомприроды.

21. Наш будущий климат // ВМО. № 925.— Женева, 2003. — 37 с.
22. Никитин А.М. Морфометрия и морфология озер Средней Азии.// Тр. САНИГМИ, 1977. Вып. 50. С. 4–21.
23. Никитин А.М. Озера Средней Азии.—Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
24. Озера Тянь–Шаня / Отв.ред. А.В. Шнитников.—Л., 1980.— 232 с.
25. Оледенение Тянь–Шаня / Отв.редакторы: М.Б.Дюргеров (Россия); Лю Шаохай, Се Зичу (Китай).— Москва, 1995.— 233 с.
26. Отчет об аэровизуальном обследовании высокогорных и прорывоопасных озер бассейна рек Пскем, Ойгаинг, Шавурсай, Коксу. САНИГМИ, 2006.
27. Первое национальное сообщение Республики Казахстан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. — Алматы , 1998. — 73 с.
28. Первое национальное сообщение Республики Узбекистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. — Ташкент , 1999. — 112 с.
29. Первое национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. — Бишкек , 2002. — 92 с.
30. Подрезов О.А. Горная метеорология и климатология. — Бишкек: Изд-во Кыргызско–Российского славянского университета, 2000. — 269 с.
31. Подрезов О.А., Диких А.Н., Бакиров К.Б. Изменчивость климатических условий и оледенения Тянь–Шаня за последние 100 лет// Вестник Кыргызско–Российского славянского университета. — Бишкек, 2001. Т.1. №3. С.33–40.
32. Порядок определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики. СП КР 22\_102:2001.— Бишкек, 2001.—17с.
33. Пушкаренко В.П., Никитин А.М. Опыт регионального исследования состояния плотин горных озер Средней Азии и характер формирования прорывных селей. //Оползни и сели. 2—М: Центр международных проектов ГКНТ, 1984. С. 17–32.
34. Проблемы сохранения экосистем внутренних вод Центральной Азии и Южного Кавказа, 2006.
35. Резюме доклада об изменении климата Таджикистана. — Душанбе, 2001. — 31 с.
36. Рейзвих В.Н., Никитин А.М. К вопросу о географическом распространении и типизации озер Средней Азии//Сб. ТГМО. — Ташкент, 1968. Вып. 3.
37. Ресурсы поверхностных вод СССР Гидрологическая изученность. Т.14. Бассейны рек Средней Азии. Вып.3. Бассейн р.Амударьи.—Л.: Гидрометеоиздат, 1967.
38. Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов в Узбекистане. - Ташкент, 2003.
39. Туратбаев А.Т. Оценка риска оползней Бостанлыкского района. —Ташкент: Геориск, 2003. С 72–76.
40. Удаленные геологические угрозы на Юго–Западном Памире, ГБАО, Таджикистан/ Краткий отчет, составленный Швейцарским Управлением по Развитию и Сотрудничеству (ШУРС) для МЧС Республики Таджикистан. Ж. Шнайдер. М.: Гмендел, 2005.
41. Уралов И.Ф. Оценка риска оползней Ангрэнского горнопромышленного района. —: Ташкент 2003, С 67–70.
42. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно–ресурсный потенциал Республики Узбекистан.—Ташкент: Изд-во Среднеазиатского научно–исследовательского гидрометеорологического института, 2000. — 252 с.
43. Шульц В.Л. Гидрография Средней Азии.//Тр. САГУ, Нов. сер. Вып. 129. Географ. науки, 1958. Кн. 13.
44. Материалы Агентства по гидрометеорологии Республики Таджикистан:  
— Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог обследованных озер Казахстана и Средней Азии с оценкой их селеопасности. Т14. Таджикистан. Вып.3. Керносов Г.А., Явкин С. Управление Гидрометеорологической службы Таджикской ССР — Душанбе, 1976.

- Яблоков А.А. Оценка состояния ледников, лавин, селей и горных озер, 2006.
- 45. Материалы Геологического управления «Геология-иточик» Республики Таджикистан:
  - Результаты рекогносцировочного гидрологического обследования 35 озер Юго-Западного и Центрального Таджикистана. Фонды «Геология-иточик», 1964.
  - Предварительная оценка возможности прорыва некоторых завальных озер Таджикской ССР по работам 1967–1968гг. Фоменко В.Д. и др. Фонды «Геологияиточик», 1970.
  - Погребной П.А., Шкалина С.А. О результатах рекогносцировочного обследования Усойского завала, бортов озера Сарез и малых озер в бассейнах рек Гунт-Шахдара по работам 1974. п.Разведчик, Фонды «Геологияиточик», 1975.
  - В.Д. Фоменко, Костюченко А.П., Кирничева Н.В. Результаты рекогносцировочного гидрогеологического обследования в 1960 г. озер Караланг, Шуркуль, Гуликовского, Кайнар, Советских, Гармского, Чашма-и-Сангак, Истон, Янурского и Хазрати-Полима Отчет Озерного отряда Каратагской партии за 1960г. Фонды «Геологияиточик», 1961.