



Тенденции прорывоопасности в развитии горных озер Кыргызстана

С.А. Ерохин, В.В. Загинаев

*Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук
Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан, erochin@list.ru, zagivit@mail.ru*

Аннотация. Из несколько тысяч горных озер Кыргызстана в настоящее время выделено 374 озера, которые в разные периоды своего развития были отнесены к прорывоопасным и занесены в каталог прорывоопасных озер Кыргызстана. По генезису и составу своих плотин прорывоопасные горные озера разделяются на типы и подтипы, каждый из которых имеет свои критерии прорывоопасности. На основе критериев прорывоопасности определяется категория их прорывоопасности: от 1-ой, самой опасной, до 4-ой. По характеру и особенностям изменений категории прорывоопасности горные озера разделяются на 8 группы 5 подгрупп. Тенденции в развитии озер каждой группы и подгруппы позволяет прогнозировать ход их дальнейшего развития и возможность их прорывов.

Ключевые слова: прорывоопасные озера, генезис и состав плотин, типы и подтипы, критерии, категории, группы, подгруппы, тенденции, прогноз

Ссылка для цитирования: Ерохин С.А., Загинаев В.В. Тенденции прорывоопасности в развитии горных озер Кыргызстана. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 194–207.

Trends of outburst hazard for the dynamics of mountain lakes in Kyrgyzstan

S.A. Erokhin, V.V. Zaginaev

*Institute of Water Problems and Hydropower Energy, National Academy of Science of
Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, erochin@list.ru, zagivit@mail.ru*

Abstract. There are several thousand mountain lakes in Kyrgyzstan. 374 lakes are currently identified in some different periods of their development they were classified as hazardous and included to the catalog of potentially hazardous lakes in Kyrgyzstan. According to the genesis and composition of their dams, outburst-hazardous mountain lakes are divided into types and subtypes, each of which has its own categories of hazards. The category of their outburst hazard have determined based on the outburst criteria: from the 1st, the most dangerous, to the 4th. By the nature and characteristics of changes in the category of outburst hazard, mountain lakes are divided into 8 groups and 5 subgroups. Trends in the development of lakes of each group and subgroup allows predicting their further development and the possibility of their outburst potential.

Key words: hazardous lakes, genesis of dams, types of lakes, forecast, categories of hazard

Cite this article: Erokhin S.A., Zaginaev V.V. Trends of outburst hazard for the dynamics of mountain lakes in Kyrgyzstan. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: "Promotion" LLC, 2020, p. 194–207.

В пределах Кыргызстана насчитывается почти две тысячи горных озер [Ерохин, 2001]. Их развитие зависит от прочности их плотин. Многие из озер прорывают свои

плотины и формируют прорывной поток, весьма опасный для жителей горных долин и прилегающих к горным хребтам подгорных равнин [Ерохин и Диких, 2003]. Для предупреждения этой опасности, её уменьшения и устранения было направлено наше изучение горных озер Кыргызстана. При этом на первый план выступал фактор устойчивости их плотин, а главными критериями устойчивости были генезис, состав и строение этих плотин [Ерохин, 2009].

По устойчивости своих плотин и возможности их разрушения и прорыва горные озера разделяются на непрорывоопасные и прорывоопасные. Первых значительно больше, чем вторых. 50-60% озер имеют прочные ригельные плотины из крепких скальных пород, еще 20-30% образовались в глубоких западинах на площади развития древних морен (типа Арабельских сыртов Внутреннего Тянь-Шаня) 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 [Ерохин и Черны, 2011]. Такие плотины могут разрушаться под действием ряда факторов. В этом случае происходят прорывы озер, которые зачастую сопровождаются катастрофическими последствиями для жителей нижерасположенных долин и равнин.

По генезису и составу своих плотин горные озера разделяются на следующие типы. Непрорывоопасные: 1) тектонические; 2) моренные; 3) ригельные 4) завальные. Прорывоопасные: 1) ледниковые; 2) моренно-ледниковые; 3) моренные; 4) завальные (см. рис. 1).

В составе некоторых типов прорывоопасных озер выделяются подтипы, отличающиеся друг от друга (внутри типа) генезисом своих плотин, морфологией озерных ванн, условиями питания и стока [Керемкулов, Цукерман, 1985].

1. В составе ледникового типа озер выделяются: термокарстовые и подпруженные озера, озера протаивания и внутриледниковые емкости.

2. В составе моренно-ледникового типа выделяются озера внутриморенных депрессий и термокарстовых воронок.

3. В составе завального типа выделяются озера завально-обвальные и завально-селевые.

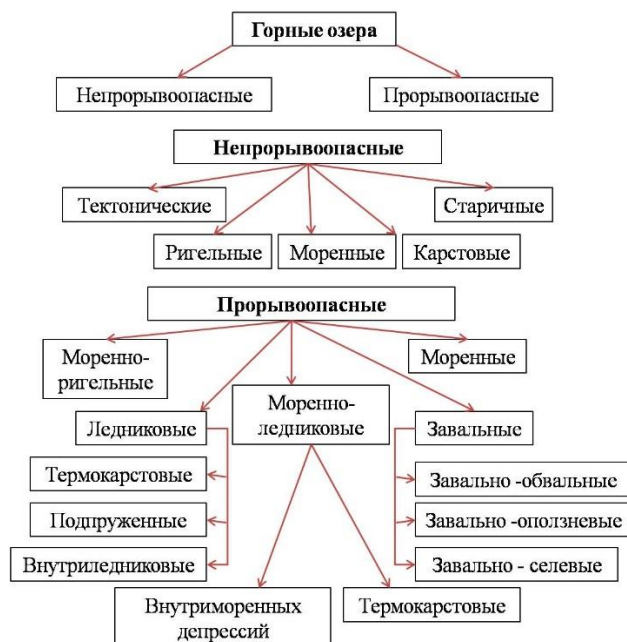


Рис. 1. Классификация горных озер Кыргызстана по прорывоопасности

Fig. 1. Classification of mountain lakes in Kyrgyzstan

Каждый тип и подтип прорывоопасных озер имеет свои критерии прорывоопасности. Количество критериев и методика их определения изменяется в зависимости от детальности исследования озер. На основе критериев прорывоопасности определяется категория их прорывоопасности. В таблице 1 приводится характеристика наиболее важных критериев прорывоопасности горных озер по категориям их прорывоопасности, в соответствии с уровнем возможностей их исследования в настоящее время.

Таблица 1. Критерии категорий прорывоопасности озер различных типов и подтипов

Table 1. Criteria of categories of lake outburst-susceptibility of different types and subtypes

Тип озера	Подтип озера	Категория опасности	Критерии прорывоопасности
Ледниковый	Термокарстовый и подпруживания	1	Внутриледниковый канал стока; очаг выклинивания воды в его устье; просадки ледника вдоль канала стока; увеличение объема озера в десятки и сотни раз в период таяния ледника, прорывы озера в прошлом.
		2	Внутриледниковый канал стока; увеличение объема озера в несколько раз; прорывы озера в прошлом.
		3, 4	Внутриледниковый канал стока.
	Внутриледниковый	1	Мощный ледопад в нижней (концевой) части ледника; прорывы в прошлом; резкие изменения в режиме стока с ледника.
		2	Ледопад в нижней (концевой) части ледника; резкие изменения в режиме стока с ледника.
		3,4	Ледопад в нижней (концевой) части ледника.
Моренно-ледниковый	Внутриморенных депрессий	1	Подземный сток; просадки на теле плотины и вдоль ложбины подземного стока; амплитуда колебания уровня озера до нескольких метров; ледник спадает в озеро уступом; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания в вершине оврага.
		2	Подземный сток; просадки плотины вдоль ложбины подземного стока; амплитуда колебания уровня озера до нескольких метров; эрозионные промоины на внешнем склоне плотины; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины.
		3	Подземный сток; просадки вдоль ложбины подземного канала стока; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины.
		4	Подземный сток.
	Термокарстовые	1	Подземный сток; сформирован канал подземного стока, вдоль которого проседает поверхность плотины; эрозионный овраг в устье подземного канала стока; очаг выклинивания в вершине оврага.

Тип озера	Подтип озера	Категория опасности	Критерии прорывоопасности
		2	Подземный сток; сформирован канал подземного стока, вдоль которого проседает поверхность плотины; эрозионный овраг в устье подземного канала стока; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины.
		3,4	Подземный сток.
Моренно-ригельный		1	Подземный сток; просадки на теле плотины и вдоль ложбины подземного стока; амплитуда колебания уровня озера до нескольких метров; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания воды в вершине оврага; ледник спадает в озеро уступом; высокая вероятность подъема уровня озера выше скального порога ригеля.
		2	Подземный сток; просадки плотины вдоль ложбины подземного стока; амплитуда колебания уровня озера до нескольких метров, эрозионные промоины на внешнем склоне плотины; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины; высокая вероятность подъема уровня озера выше скального порога ригеля.
		3	Подземный сток; эрозионные промоины на внешнем склоне плотины; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины; малая вероятность подъема уровня озера выше скального порога ригеля.
		4	Подземный сток; малая вероятность подъема уровня озера выше скального порога ригеля.
Моренный		1	Подземный сток; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания подземного канала стока в вершине оврага.
		2	Подземный сток; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины
		3,4	Подземный сток.
Завальный	Обвальный	1	Подземный сток; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; очаг выклинивания подземного канала стока в вершине оврага; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины, возможность переполнения озера.
		2	Подземный сток; эрозионный овраг на внешнем склоне плотины; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины, возможность переполнения озера.

Тип озера	Подтип озера	Категория опасности	Критерии прорывоопасности
		3	Подземный сток; выклинивание воды у подножия внешнего склона плотины, возможность переполнения озера.
		4	Подземный сток, возможность переполнения озера.
	Селевой	1	Отсутствие стока; резкий подъем уровня воды в озере и его переполнение.
		2	Подземный сток; объем от первых десятков до нескольких сотен тысяч куб. метров, высокая вероятность переполнения озера.
		3,4	Подземный сток; объем в несколько десятков тысяч куб. метров, малая вероятность переполнения озера.
	Оползневой	1	Отсутствие стока; резкий подъем уровня воды в озере и его переполнение.
		2	Подземный сток; объем в несколько десятков тысяч куб. метров; высокая вероятность переполнения озера.
		3,4	Подземный сток, объем в несколько десятков тысяч куб. метров; малая вероятность переполнения озера.

Первоначально прорывоопасность озер оценивалась по трем категориям (наиболее прорывоопасная – первая). Однако в последние 5 лет появилась необходимость ввести еще и четвертую категорию, в которую попадают озера, уже прошедшие в своем развитии прорывоопасную стадию. Но они еще сохранили значительный объем воды и при кардинальных изменениях природных условиях (землетрясении, обвале и оползании горных склонов, селевых потоках) могут снова стать прорывоопасными. Категория прорывоопасности озера может изменяться в процессе его развития, а также при изменении природных условий.

Из несколько тысяч горных озер Кыргызстана в настоящее время (2020 год) выделено 374 озера, которые в разные периоды своего развития были отнесены к прорывоопасным и занесены в каталог прорывоопасных озер Кыргызстана. По территории республики они расположены следующим образом: в Джалалабадской области – 26 озер; в Иссык-Кульской области – 170 озер; Нарынской области - 18 озер; в Ошской и Баткенской областях - 65 озер; Таласской области - 21 озеро; в Чуйской области – 73 озера (см. рис. 2).

Каталог прорывоопасных озер Кыргызстана постоянно пополняется новыми данными по озерам, как уже включенными в каталог ранее, так и по новым озерам, которые образовались в последние годы. Анализ и систематизация информации, включенной в каталог позволяет проследить изменения в развитии озер, выявить тенденции в процессе этого развития и спрогнозировать возможность их прорывов в будущем.

Одним из вариантов такого анализа стал мониторинг изменений категорий прорывоопасности озер за последние пятнадцать лет, с 2006 по 2020 гг. По характеру и особенностям изменений категории прорывоопасности горные озера разделяются на 8 групп. В 3-ей и 6-ой группах дополнительно выделяются подгруппы в зависимости от их нарастающей или убывающей прорывоопасности (таблица 2).

Сходство тенденции в развитии озер внутри каждой группы позволяет прогнозировать ход их дальнейшего развития и возможность их прорывов.

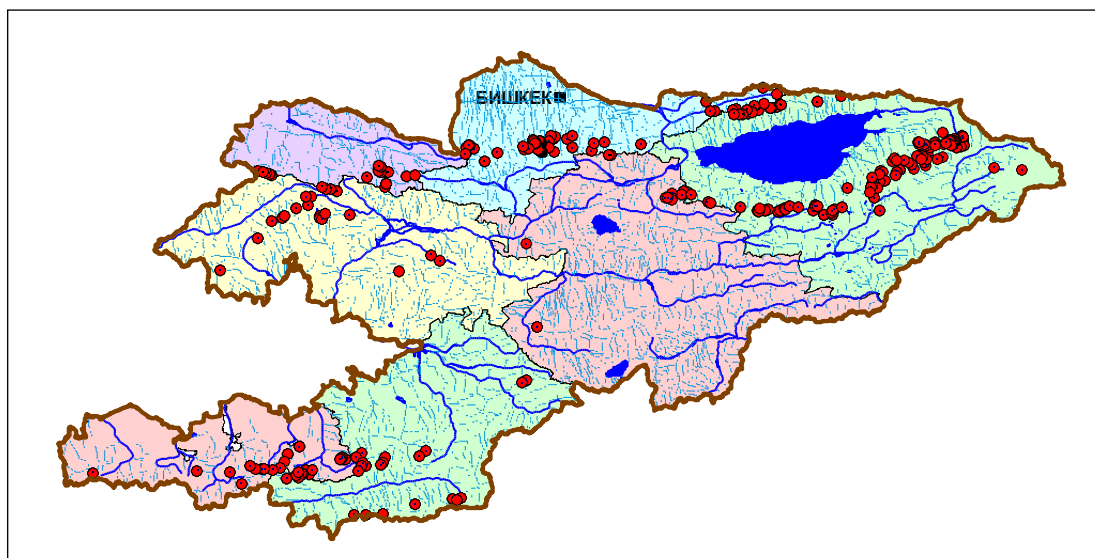


Рис. 2. Расположение прорывоопасных озер на территории Кыргызстана

Fig. 2. Location of outburst-hazardous lakes on the territory of Kyrgyzstan

Таблица 2. Признаки, критерии и прогноз прорывоопасности озер каждой группы

Table 2. Signs, criteria, and forecast of lake outburst-susceptibility in each group

Но- мер груп- пы озер	Главный признак группы озер	Главный признак подгруппы озер	Особенности каждой группы озер	Критерии прорыво- опасности каждой группы озер	Прогноз прорывоопас- ности на 5- 10 лет
1	Озера с почти ежегодными опорожнениями (рис. 3)		Озера ледникового типа с внутриледниковы- ми каналами стока	1. Наполне- ние озер.	Прорывоопас- ность 1-ой категории
2	Озера, сохраняющие высокую степень прорывоопаснос- ти после частичного опорожнения (рис. 4)		Моренно- ледниковые озера с постоянным наполнением озерных ванн	1. Разработ- ка подземных каналов стока. 2. Наполне- ние озер. 3. Просадка плотинных перемычек	Возможно увеличение прорывоопасно- сти до 2-ой и 1- ой категорий
3	Озера, сохраняющие прорывоопас- ность 3-ей категории после частичного или полного опорожнения (рис. 5)	3.1. Озера с нарастаю- щей проры- воопас- ностью. Наполне- ние выше прорывного уровня (рис. 6)	Моренно- ледниковые озера внутриморенных депрессий. Возможно наполнение в течение 2-3 месяцев и обязательный прорыв	1. Наполне- ние озер. 2. Разработ- ка подземных каналов стока.	Увеличение степени прорывоопас- ности
		3.2. Озера с затухаю- щей проры-			Уменьшение степени

		воопас- ностью. Наполне- ние меньше прорывного объема (рис. 7)			прорывоопас- ности
4	Озера после частичного или полного опорожнения перешли в стадию спокойно стабильного развития, с маловероятной возможностью нового прорыв – 4-ая категория (рис.8)		Озера моренно- ледниковые внутриморенных депрессий и термокарстовых воронок, а также завально- каменноглетчер- ные. Восстановление их прорывоопасности возможно только при значительном изменении природных условий	1. экстре- мальное событие. 2. Наполне- ние озер.	Затухающая прорывоопас- ность
5	Озера без прорыва, в течении последних 10-15 лет сохраняют признаки устойчиво непрорывоопас- ного развития, 4-ой категории (рис. 9)		Моренно- ледниковые озера внутриморенных депрессий. Постоянно сохраняют в своих ваннах некоторый объем воды даже в зимний период.	1. экстре- мальное событие. 2. Наполне- ние озер.	Затухающая прорывоопас- ность
6	Озера без прорыва, в течении последних 10-15 лет сохраняют признаки прорывоопасно- го развития Прорывоопас- ность оценивается 3- ей категорией (рис.10)	6.1. Озера с подземным стоком (рис11)	Моренно- ледниковые озера внутриморенных депрессий.	1. Разработ- ка подземных каналов стока. 2. Наполне- ние озера.	Увеличение степени прорывоопас- ности до 2-ой или 1-ой категорий
		6.2. Озера с поверх- ностным стоком (рис.12)			Переход в спокойно устойчивую стадию затухающего развития с 4-ой категорией прорывоопас- ности
		6.3. Озера со скальным ригелем в основании плотины (рис.13)			
7	Озера без прорыва, в течении последних 5-10 лет сохраняют признаки высокой степени прорывоопас-		1. Моренно- ледниковые озера внутриморенных депрессий с затрудненным подземным стоком. 2. Ванна озера расширяется за	1. Разработ- ка подземных каналов стока. 2. Наполне- ние озера.	Возможно увеличение прорывоопас- ности до 1-ой категории

	ности, 1 и 2 категории (рис. 14)		отступающим ледником.	3. Просадка плотинных перемычек.	
8	Озера без прорыва, но с признаками высокой степени прорывоопасности в последние 1-3 года (рис. 15)		Моренно-ледниковые озера внутриморенных депрессий с неустойчивым подземным стоком, с большими колебаниями объема.	1. Наполнение озера 2. Разработка подземных каналов стока	Прорывоопасность 1-ой или 2-ой категории



Рис. 3. Озеро Мерцбахера (И-100) сохранит высокую степень прорывоопасности в будущем

Fig. 3. Merzbacher will have a high level of outburst hazard in the future



Рис. 4. Озеро Четенды-джеруйское (И-81) прорывалось в 2013 году, но, по-прежнему, остается весьма прорывоопасным

Fig. 4. Chetynde Djerui (И-81) outburst in 2013 and still is a dangerous



Рис. 5. Озеро Кольтор-тонское (И-35) до прорыва и его наполнение после прорыва 2018 г.

Fig. 5. Koltor-Ton lake before (a) and after (b) outburst in 2018

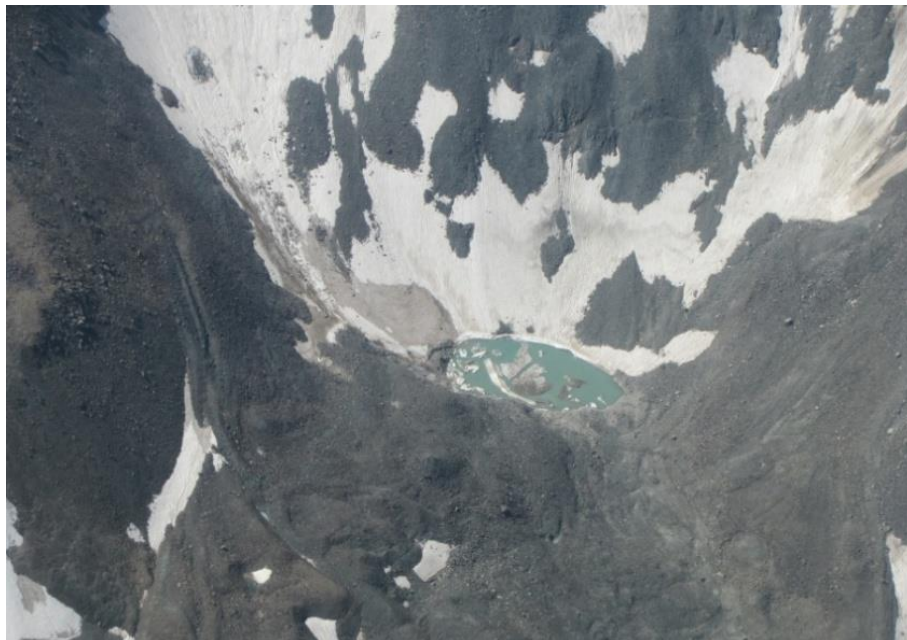


Рис. 6. Озеро Аtdжайлоо-шамсинское-восточное (Ч-61-б)

Fig. 6. Atdjailoo-Shamsy-east. Ch-61-b



Рис. 7. Нестационарное озеро Тезтор (Ч-8) до прорыва 2012 и после прорыва в 2015 г.

Fig. 7. Nonstationary Teztor lake before 2012 (a) and after (b) outburst in 2015

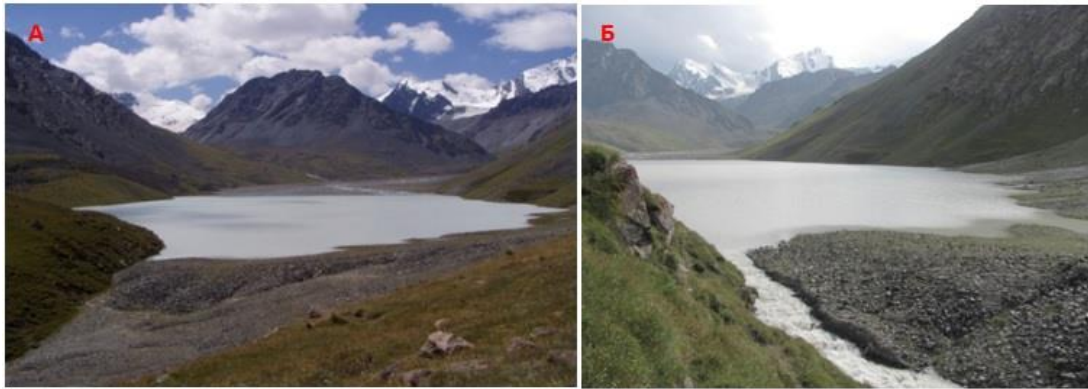


Рис. 8. Выше селевого завала в верховьях долины реки Иссыката образовалось озеро Минжилки (Ч-41) (А). В 2013 году озеро прорвалось и перешло в пассивную фазу развития (Б)

Fig. 8. Minzhylki lake was formed in the upper part of Issyk-Ata valley above the debrisflow dam (A). The lake outburst in 2013, and became stable from this moment (B)



Рис. 9. Озеро Тамга (И-6) в течении последних 10 лет сохраняет признаки устойчиво непрорывоопасного развития

Fig. 9. Tamga Lake has a stable development position for the last 10 year



Рис. 10. Озеро Ирису (Ч-82) имеет подземный сток и неограниченный водоприток

Fig. 10. Irisu Lake (Ч-82) has a subsoil drainage and unlimited watersource



Рис. 11. Прорывоопасность озера Каракунгей (Н-19) медленно нарастает, так как оно при подземном стоке имеет ограниченное питание

Fig. 11. Hazrdous increase for Karakungei Lake because lake has a limited water source and subsoil drainage



Рис. 12. Озеро Чонкойсу (И-13) имеет неограниченный водоприток и поверхностный сток

Fig. 12. Chonkoisu Lake (И-13) has unlimited watersource and overflow drainage

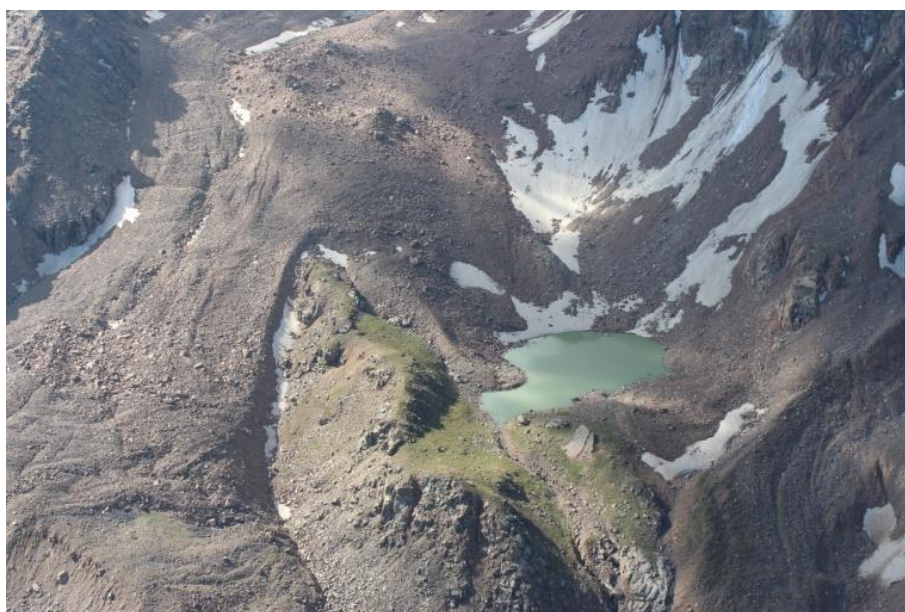


Рис. 13. Плотина озера Терстор-восточное (И-3) имеет в основании скальный ригель

Fig. 13. Dam of the Terstor East Lake (И-3) consist of stable rock



Рис. 14. Оз. Петрова (И-76) и хвостохранилище золотодобывающего рудника Кумтор в 5 км ниже

Fig. 14. A tailing dump of the Kumtor gold mine 5 km below Petrov Lake (I-76)



Рис. 15. Ванна озера Туюкжар (Ч-63) при максимальном наполнении

Fig. 15. Tujkgar Lake bath at maximum filling

Таким образом, самыми опасными в настоящее время являются озера 1 и 8 групп, близко к ним, но все-таки несколько ниже, по уровню прорывоопасности находятся озера 2-ой и 7-ой групп.

Озера остальных четырёх групп в своем развитии либо еще не достигли пика прорывоопасности – это подгруппы 3.1 и 6.1, либо уже перешли его – это группы 4-ая, 5-ая и подгруппы 3.2; 6.2; 6.3.

Список литературы

Ерохин С.А. Гляциальные озера как гидроэкологические объекты и факторы их прорывоопасности. // В кн.: Вода и устойчивое развитие Центральной Азии. Бишкек: Фонд «Сорос-Кыргызстан», 2001, с. 93-98.

- Ерохин С.А., Диких А.Н. Оценка опасности действия селевых и паводковых потоков на территории Ала-Арчинского национального парка. Известия НАН КР, вып. 4. Бишкек, 2003, с. 130-139.
- Ерохин С.А. Мониторинг горных озер Кыргызстана. // Снижение риска природных катастроф в горах. Сб. трудов конференции. Бишкек: Salam, 2009, с. 34-40.
- Ерохин С.А., Черны М. Типы морено-ледниковых комплексов как критерии регрессии горно-долинного оледенения Тянь-Шаня. // Изменение климата и риски стихийных бедствий в горных районах. Сб. трудов конференции. Душанбе: Контраст, 2011, с. 65-66.
- Керемкулов В.А., Цукерман И.Г. Модель опорожнения моренного озера через грот // Селевые потоки, 1985, сб. 9, с. 59-70.