

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



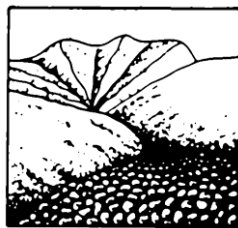
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

Издательство Универсал
Тбилиси 2018

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის
მასალები

თბილისი, საქართველო, 1-5 ოქტომბერი, 2018



რედაქტორები
ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი

გამომცემლობა "უნივერსალი"
თბილისი 2018

УДК 551.311.8
ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили. – Тбилиси: Универсал, 2018, 671 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018. – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili. – Tbilisi: Publishing House “Universal”, 2018, 671 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე-5 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018. გამომცემლობა "უნივერსალი", თბილისი 2018, 671 გვ. პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი.

Ответственные редакторы С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили
Edited by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Верстка: С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева, Е.А. Савернюк
Page-proofs: S.S. Chernomorets, K.S. Viskhadzhieva, E.A. Savernyuk

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).
Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman’s book on Debris Flows (Moscow: Geografiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-9941-26-283-8

© Селевая ассоциация
© Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава
Грузинского технического университета

© Debris Flow Association
© Ts. Mirtskhulava Water Management Institute
of Georgian Technical University

© ღვარცოფების ასოციაცია
© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა
მეურნეობის ინსტიტუტი



Ледниковые озера Иле (Заилийского) Алатау: состояние, современные изменения, вероятные риски

**В. Капица¹, М. Шахгеданова², З. Усманова¹, И. Северский¹,
В. Благовещенский¹, Н. Касаткин¹, В. Мишенин¹, Ю. Ребров¹, А. Голенко¹**

¹*Институт географии МОН РК, Алматы, Казахстан*

²*Университет Рединга, Рединг, Великобритания, vasil.geo@mail.ru*

В статье, основанной на каталоге ледниковых озер, составленного по космическим снимкам и данных специализированных полевых исследований за 2009-2017 гг. приведены результаты оценки потенциальной опасности прорывоопасных ледниковых озер как источника формирования разрушительных гляциальных селей в Иле (Заилийском Алатау). Рассмотрены климатические изменения по 6 метеорологическим станциям расположенным на высотах от 1100 до 3450 м над у.м. По методике Казселзащиты и известным критериям оценки селеопасности [Huggel et al. 2002] выявлено 17 наиболее опасных озер с определением вероятных расходов в случае их прорыва.

батиметрическая съемка, гляциальное озеро, дешифрирование космоснимков, изменение климата, селеопасность

Glacial lakes in the Ile (Zailiiskiy) Alatau: current state, observed changes and potential risks

**V. Kapitsa¹, M. Shahgedanova², Z. Usmanova¹, I. Severskiy¹,
V. Blagovechshenskiy¹, N. Kasatkin¹, V. Mishenin¹, Yu. Rebrov¹, A. Golenko¹**

¹*Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan*

²*University of Reading, Reading, UK*

This paper reports the results of an assessment of potential risks of glacial lake outbursts and formation of debris flow in the Ile (Zailiiskiy) Alatau based on the data of the catalogue of glacial lakes developed using remote sensing and field work in 2009-2017. Climatic changes are assessed using data from six meteorological stations located between 1100 m and 3450 m a.s.l. Seventeen lakes are identified as dangerous using methods employed by the Kazakhstan State Agency for Mudflow Protection and those proposed by Huggel et al. [2002]. Discharge resulting from the potential outburst of these lakes is estimated.

bathymetry, climate change, debris flow, glacial lakes, glacial lakes outburst, hazards, remote sensing

Введение

Многочисленные ледниковые озера – неотъемлемый элемент ландшафта высокогорий Иле Алатау, как и других горных районов Центральной Азии [Bolch, 2011; Borodavko, 2013; Благовещенский, 2014; Blagovechshenskiy, 2015]. Типичной для этих горных районов является и периодические сели, в том числе сформированные вследствие прорыва дамб ледниковых озер. Два из трех наиболее масштабных и разрушительных селей на северном склоне Иле Алатау за последнее столетие приходится на гляциальные – сели в долине р. Иссык в июле 1963 г. объем вынесенного



материала 5,8 млн. м³ [Попов, 1981], разрушивший дамбу высокогорного озера Иссык и многочисленные жилые и хозяйственные строения ниже по течению и селевой поток в долине р Малая Алматинка (Киши Алматы) в июле 1973 г. общим объемом 5,5 млн.м³ [Есенов, 1981]. В последние десятилетия вероятность возникновения гляциальных селей явно возрастает вследствие продолжающейся интенсивной деградации ледников.

Согласно результатам исследований (Severskiy et al., 2016) оледенение северного склона Иле Алатау, как и двух других ледниковых систем Балхаш-Алакольского бассейна – Джунгарской и Верхне-Илейской (на китайской части бассейна р. Иле) - в последние 6 десятилетий сокращалось линейно со средним темпом около 0,75% в год по площади и около 1% в год по объему льда. На освободившейся от ледника площади возникали новые ледниковые озера с неустойчивыми морфометрическими характеристиками и непредсказуемым гидрологическим режимом. В условиях продолжающегося потепления климата и интенсивного таяния ледников изменялось и состояние многочисленных ледниковых озер, сформировавшихся здесь в прошлом. Следствием сочетания этих условий стало существенное увеличение риска прорыва дамб ледниковых озер с формированием разрушительных селей [Благовещенский, 2014; Blagovechshenskiy, 2015]. Попытка оценить происходящие изменения на основе каталогизации ледниковых озер по состоянию на 2017 г. и выявить наиболее прорывоопасные ледниковые озера с оценкой риска возникновения разрушительных селей гляциального характера – цель нашего исследования.

Район исследования

Иле (Заилийский Алатау) – один из внешних хребтов Северного Тянь-Шаня. Его протяженность с запада на восток около 280 км. Наиболее возвышена центральная его часть с высшей точкой - пиком Талгар (4978 м). На северном склоне Иле Алатау 10 бассейнов рек имеют ледники. В этих бассейнах могут развиваться гляциальные озера. Первой с востока является р. Тургенъ. К западу от нее расположены реки Иссык, Талгар, Киши Алматы, Улкен Алматы, Каргалы, Аксай, Шемолган, Каскелен и Узун-Каргалы.

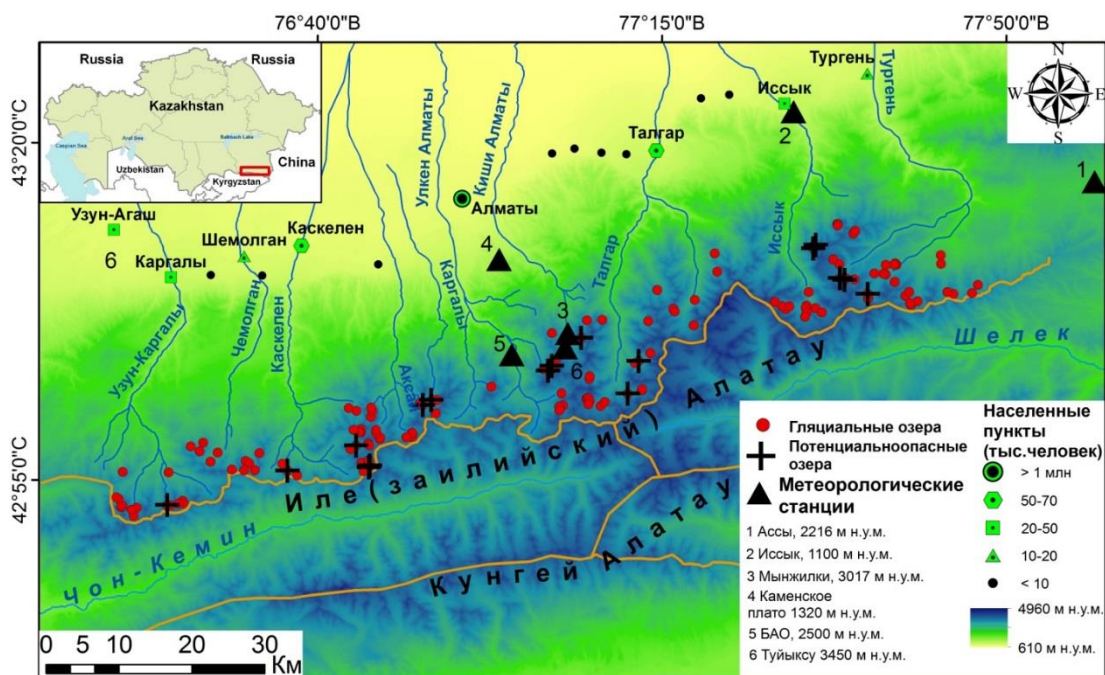


Рис. 1. Район исследования.



Данные и методы

Для инвентаризации ледниковых озер мы использовали космические снимки Sentinel 2 разрешением 10 м. Контура озер были оцифрованы вручную с использованием программы ArcGis 10.5. Абсолютная высота расположения озер и характер окружающего рельефа определялась с помощью SRTM DEM разрешением 30 м. Полевые работы выполнялись с целью определения объема воды в озерах с использованием эхолота Lowrance разрешением 10 см. Анализ климатических изменений был проведен по данным 6 метеорологических станций, расположенных в диапазоне высот от 1100 до 3450 м над у.м. Потенциальная опасность озер определялась по методике Казселезащиты и трехуровневой методологии [Huggel et al., 2002]. Согласно методике Казселезащиты [Бижанов и др., 1998], среди озер, появившихся в результате отступления ледников на современной морене, потенциально опасным являются водоемы объемом водной массы > 10 тыс.м³ и их разделяют на два основных типа – стационарные и нестационарные. Стационарные в период абляции находятся в состоянии полного заполнения и полностью не опорожняются в зимний период. При их прорыве формируются разрушительные гляциальные сели. Нестационарные озера могут не наполняться в течении нескольких лет, а в результате перекрытия внутриледовых каналов стока в период абляции, происходит их опорожнение. Этот тип озер относят к наиболее опасным. Из 26 прорывов ледниковых озер, зарегистрированных на северном склоне Иле Алатау за период с 1951 по 2015 гг., 19 сформировались вследствие прорыва нестационарных ледниковых озер. Для определения мест возможного появления таких озер необходимо выполнять регулярные аэровизуальные наблюдения и мониторинг посредством дешифрирования космических снимков.

К селеопасным ледниковым озерам, выявленным по методике Казселезащиты по состоянию на 2017 г. добавлены озера, выявленные по методике Huggel et al. [2002]. Как и в предыдущей нашей публикации [Kapitsa et al., 2017] мы подробно остановились на уровне 2 – определения критериев селевой опасности озер на основе данных дистанционного зондирования, дополнив их результатами полевых исследований и соответствующих измерениями. В ходе этих работ определялись тип озера, его местоположение относительно ледника, площадь водной поверхности и объем воды в озере (измеренный либо рассчитанный), наличие каскадов, расстояние до объектов инфраструктуры, наличие склонов >45° вблизи озера. Максимальные расходы, вероятные в случае прорыва озера, оценивались по уравнению Попова [1986] уравнение (1) и по методике Haeblerli [1983] -по уравнению (2)

$$Q_{max} = 0.0048 \times V^{0.896} \quad (1)$$

$$Q_{max} = 2V/t \quad (2)$$

где V – объем воды в озере в м³, t – время, равное 1000 сек.

Величина расхода по уравнению (2) предполагает наихудший сценарий прорыва из-за резкого переполнения озера в результате обрушения горных пород, ледника, обрушения в озеро лавины либо оползня. Уравнение (1) было получено на основе зависимости максимальных расходов от объемов прорывных паводков в Иле Алатау.

Для озер, батиметрическая съемка которых не проводилась, объем озера оценивался по эмпирической зависимости от площади водной поверхности озера, полученной на основе 45 батиметрических съемок за период 2009-2017 гг. в Иле и Жетесу (Джунгарском) Алатау. Связь между объемами и площадью обследованных озер (рис. 2) аппроксимируется уравнением (3):

$$V = 0.044 \times A^{1.479} \quad (3)$$

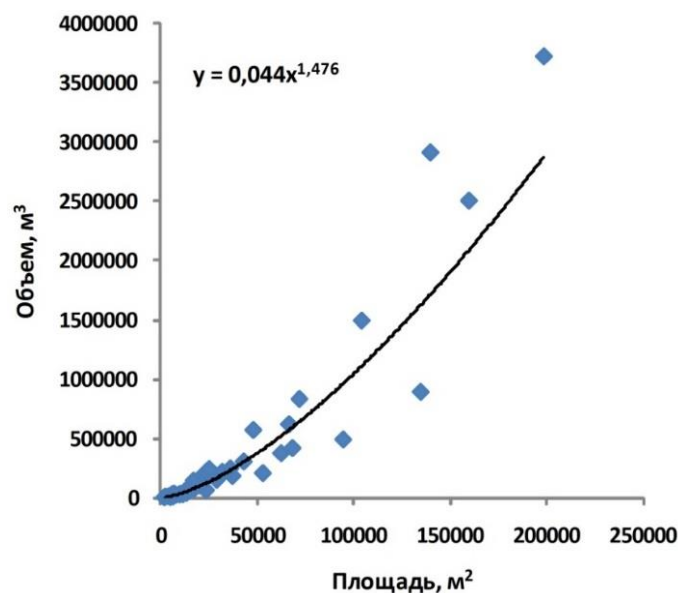


Рис. 2. Связь между площадью и объемом озер в Иле и Жетесу Алатау

Результаты

Наблюдаемые изменения климата. В целом климат хребта обусловлен положением последнего в глубине Евразийского материка, широтой места и большим разнообразием в абсолютных высотах.

В ледниковой зоне средняя годовая температура воздуха на высотах 3400-3800 м составляет -4 - 8°C и уменьшается до -10 - 12°C и ниже на высотах, превышающих 4000 м. Среднее годовое количество осадков колеблется от 700 до 1500 мм, причем нарастание осадков происходит до 3500-3700 м. [Каталог..., 1967; Вилесов, 2016].

По данным метеостанций Казгидромета (рис.1), расположенных на высотах от 1100 до 3450 м, в последние десятилетия отмечены положительные тренды температуры воздуха во все сезоны года, значимые на уровне 0,05. Временные ряды летнего сезона всех станций характеризуется небольшой межгодовой изменчивостью в сравнении с другими сезонами. В период с начала 1930х по 2016/17 гг. температура воздуха в летний период, вычисленная по данным разных метеостанций, возросла с темпами $0,10$ - $0,26^{\circ}\text{C}/10$ лет. Положительные тенденции в летних температурах также были отмечены в других районах Тянь-Шаня [Kutuzov, Shahgedanova, 2009; Narama et al., 2010; Sun Huilan et al., 2010; Wang et al., 2011; Wang et al., 2013; Kapitsa et al., 2017]. Более заметное потепление было отмечено осенью. Темпы роста среднегодовой температуры составили $0,10$ - $0,30^{\circ}\text{C}/10$ лет, что хорошо согласуется с результатами, полученными для китайской части бассейна реки Иле [Wang et al., 2011; Sun Huilan et al., 2010]. В целом можно отметить снижение темпов роста температуры с увеличением высоты местности [Severskiy et al., 2017].

Тенденции в осадках варьируются между горными регионами Центральной Азии [Kapitsa et al., 2017; Kutuzov, Shahgedanova, 2009; Narama et al., 2010; Sun Huilan et al., 2010; Wang et al., 2013]. Выявленные величины трендов как годовых, так и сезонных осадков статистически незначимы. Характерна также значительная межгодовая изменчивость сумм осадков. Больше количество осадков в рассматриваемом районе выпадает в теплый период (апрель-октябрь), на некоторых станциях было отмечено увеличение годовых осадков (Туйыксу, БАО, Каменское плато).

Инвентаризация озер. По состоянию на 2017 год по результатам дешифрирования космической съемки в высотном диапазоне от 2700 до 3980 м на северном склоне Иле Алатау выявлено 154 озера общей площадью 2,28 км². Из них 69 озер (45%) общей площадью 0,938 км² (41%) находилось в высотном интервале 3500–3700 м. Средняя площадь озер составила 0,015 км². Выявленные озера были разделены на 4 типа: приледниковые и приледниково-моренные, расположенные на современной морене, моренные и завальные [Kapitsa et al., 2017]. В результате инвентаризации обнаружено лишь 2 завальных озера, 3120 и 3300 м. Одно из них, самое крупное – озеро Акколь – расположено в бассейне реки Иссык на высоте 3120 м. Площадь его 190 тыс. м², а объем воды по данным батиметрической съемки составляет более 2,5 млн. м³. Озеро образовалось вследствие землетрясения, произошедшего в начале XX в, плотина озера представляет собой мощное образование, сложенное материалом верхнечетвертичной морены и телом завала (рис 3). Это способствует высокой фильтрационной способности перемычки, возрастающей по мере увеличения уровня воды в озере. Котловина озера способна вместить более 11 млн м³, что позволяет озеру выступать в роли природного селехранилища [Шушарин, 1980], способного аккумулировать селевую массу в случае прорывов озер, расположенных выше по течению. В 2017 году их было 10. Объем самого большого озера составлял 66 тыс. м³.

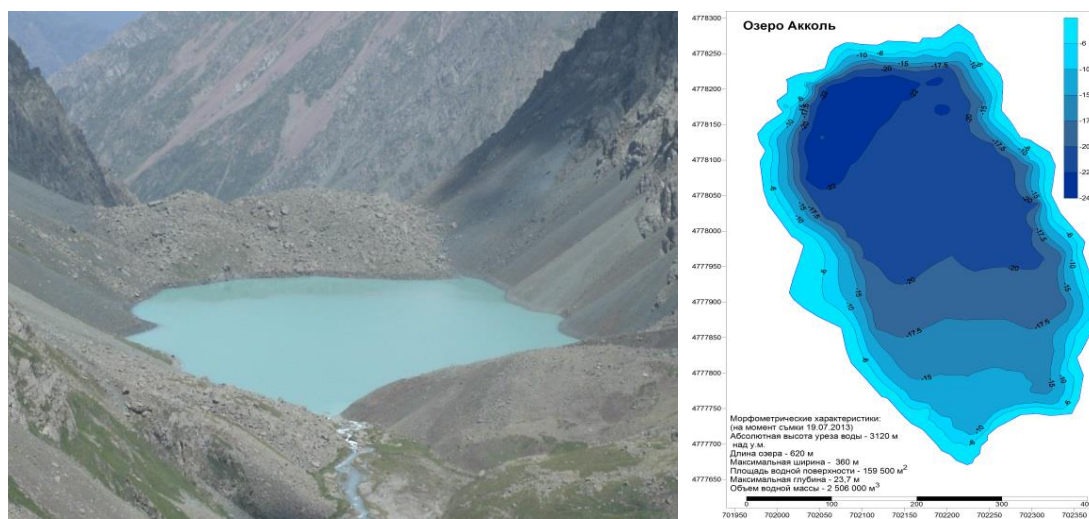


Рис. 3. Озеро Акколь в верховьях р. Иссык. Общий вид и батиметрическая карта.

Из 154 выявленных озер 113 располагались на современной морене в высотном интервале 3310–3980 м над у.м., 27 из них имели непосредственный контакт с ледниками (приледниковые озера). Наибольшее количество таких озер (23) обнаружено в бассейне реки Талгар, с суммарной и средней площадью 0,0097 и 0,246 км² соответственно. В бассейне реки Турген количество озер на современной морене меньше (18), но их средняя и суммарная площади (0,021 и 0,369 км²) больше, чем в бассейне реки Талгар. Обычно у приледниковых и приледниково-моренных озер водоудерживающей дамбой служат линзы погребенного льда, прикрытых моренным чехлом [Вилесов, 2013], такие озера быстро реагируют на изменение климата и с точки зрения потенциальной прорывоопасности они заслуживают наибольшего внимания. Именно с прорывом озер, расположенных на современной морене, связано формирование всех гляциальных селей в Иле Алатау. Моренные озера расположены на древних моренах в высотном диапазоне 2700–3680 м над у.м. Их общее количество 39, а суммарная и средняя площадь составила 0,021 и 0,811 км² соответственно. Как правило, у таких озер плотины более устойчивы и могут содержать погребенный лед, но их реакция на изменения климата более замедленна, чем у плотин на современных моренах [Северский, 2009]. Гляциальных селей, связанных с прорывом моренных озер, в Иле Алатау не наблюдалось.



Потенциально опасные озера. По методики Казселезащитны 15 озер отнесены к категории селеопасных. Они также попадают под критерии селеопасных по методике Huggel et al. (2002) на основе которой еще 2 озера мы отнесли к селеопасным (таблица). Наиболее селеопасные озера расположены в бассейне р. Тургенъ (рис. 1). Здесь расположены 3 самых больших приледниковых озера северного склона Иле Алатау. Самое большое озеро № 13 расположено у языка ледника Горного Института на высоте 3560 м над у.м. Проведенная батиметрическая съемка в летний период 2017 года показала, что озеро содержит более 1 млн м³ воды (рис. 4).

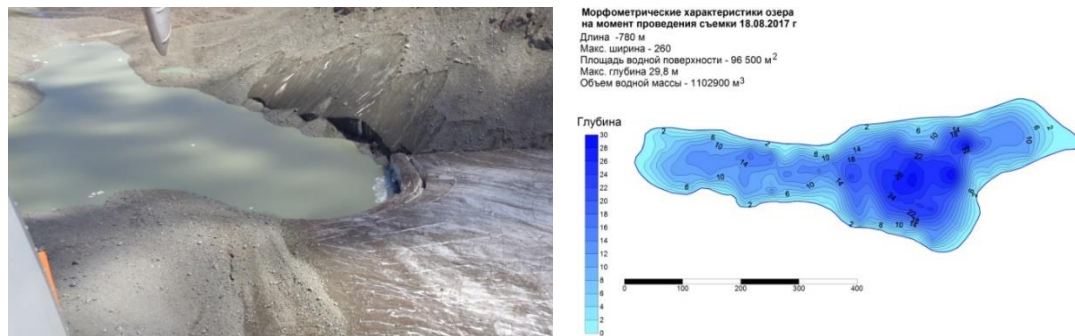


Рис. 4. Озеро № 13 в бассейне р. Тургенъ. Общий вид и батиметрическая карта.

При наихудшем сценарии развития событий пиковые расходы могут достигать 1246 м³/с, при этом средний расход реки Тургенъ за июль-август на выходе реки из гор, не превышает 15-17 м³/с. Озера № 15 и 16 (рис. 5) расположены в верховье р. Шентургенъ – левого притока р. Тургенъ – на высотах 3670 и 3730 м соответственно. Озера появились в начале 1990-х годов и интенсивно развивались в результате отступления ледников.

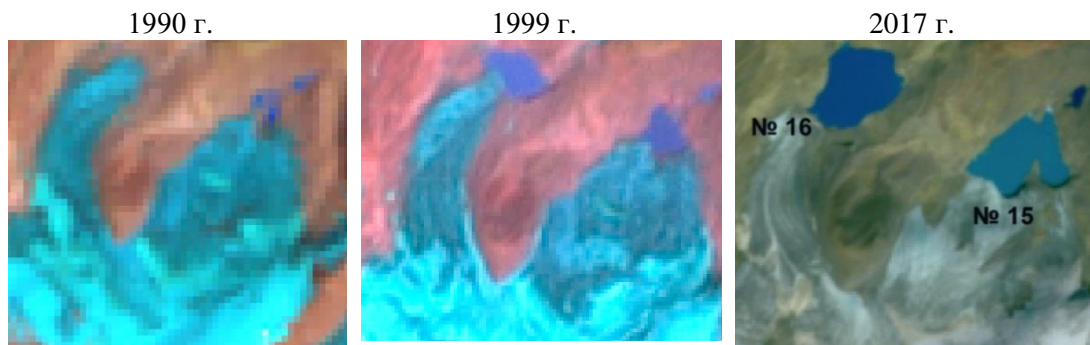


Рис. 5. Динамика озер № 15 и №16 в бассейне р. Тургенъ.

В 2016 году Казселезащитой был открыт пост для мониторинга состояния озер и проведения работ по углублению канала стока с целью снижения уровня вводы в озере № 16.

Таблица 1. Селеопасные озера северного склона Иле Алатау

Бассейн Реки	№ озера	Высота над у.м., м	Координаты		Площадь м ²	Объем (10 ³ м ³)	Расход (Попов) м ³ /с	Расход (Huggel) м ³ /с	Потенциальные повреждения
Тургень	13	3560	43° 7' 24,218" N	77° 35' 5,994" E	96 500	1 103	1246	2206+	Рекреационные объекты; конферма, сейсмостанция, водозаборы ЛЭП, дороги, мосты, водопровод
Тургень	16	3670	43° 8' 28,785" N	77° 32' 48,528" E	66 400	619*	742	1238+	
Тургень	15	3730	43° 8' 37,634" N	77° 32' 21,810" E	71 800	832	968	1664+	
Талгар	11	3400	43° 2' 54,401" N	77° 11' 46,613" E	26 500	150	208	300	Кордоны, сейсмостанция
Талгар	13	3470	43° 0' 31,597" N	77° 10' 35,922" E	67 900	206	277	412	
Киши Алматы	1	3580	43° 4' 43,936" N	77° 6' 1,498" E	20 100	144	200	287+	Водозаборы, ЛЭП, дороги, мосты, водопровод
Улкен Алматы	5	3540	43° 2' 21,428" N	77° 2' 36,884" E	37 200	182*	248	364+	Мосты через рр. Кумбел и Улкен Алматы, дорога ГЭС-2 – ГЭС-1, кафе, рестораны
Улкен Алматы	3	3580	43° 2' 43,023" N	77° 3' 0,989" E	8 000	22	37	44	
Аксай	1	3530	43° 0' 1,643" N	76° 49' 53,805" E	28 600	166*	229	333	Село Жанатурмыс, кордон, дачи, гидротехнические сооружения, дачи, рекреационная зона
Каскелен	8	3620	42° 57' 8,254" N	76° 43' 4,076" E	153 000	340	434	680+	Кордон, дачи, д/о, жилые дома, мосты, дороги
Каскелен	13	3740	42° 55' 29,867" N	76° 44' 18,407" E	19 200	143*	200	286	
Каскелен	12	3750	42° 55' 37,595" N	76° 44' 24,898" E	17 800	68*	103	136	
Каскелен	20	3450	42° 55' 21,950" N	76° 36' 6,039" E	16 300	73	109	145	
Узун- Каргалы	5	3520	42° 52' 59,296" N	76° 23' 55,629" E	45 550	331	423	661	Водозаборы, ЛЭП, дороги, мосты, водопровод
Каргалы	1	3510	43° 0' 23,340" N	76° 50' 45,291" E	4 300	10	19	20	Жилые дома, водозаборы, ЛЭП, дороги, мосты, водопровод
Иссык	5	3600	43° 10' 53,989" N	77° 29' 44,233" E	27 900	160*	221	321	Рекреационная зона выше озера Иссык, водозабор, гидропост, гидроузел, мосты, дороги
Иссык	4	3640	43° 11' 9,608" N	77° 30' 0,966" E	13 500	55*	85	110	

Примечание: жирным шрифтом выделены рассчитанные объемы. «*» - отмечены озера, являющиеся частью каскада. «+» указывает на возможность обрушения в озеро льда, горных пород. Включения озера № 1 в бассейне р. Каргалы, несмотря на его размеры, объясняется его частичным заполнением после прорыва в 2015 г.



Несмотря на проводимые превентивные меры Казселезащитой по снижению уровня озер в бассейнах рек Киши (под ледником Маметовой) и Улкен (под ледником Советов) Алматы объем в озерах все еще остается значительным и в случае их прорыва могут образоваться сели с расходом в сотни раз больше средних показателей за абляционный период.

В результате принятых мер на озере под ледником Маметовой в бассейне реки Киши Алматы объем водной массы удалось снизить с 241 тыс. м³ в 2010 г до 143 тыс. м³ в 2017 г. (рис. 6).

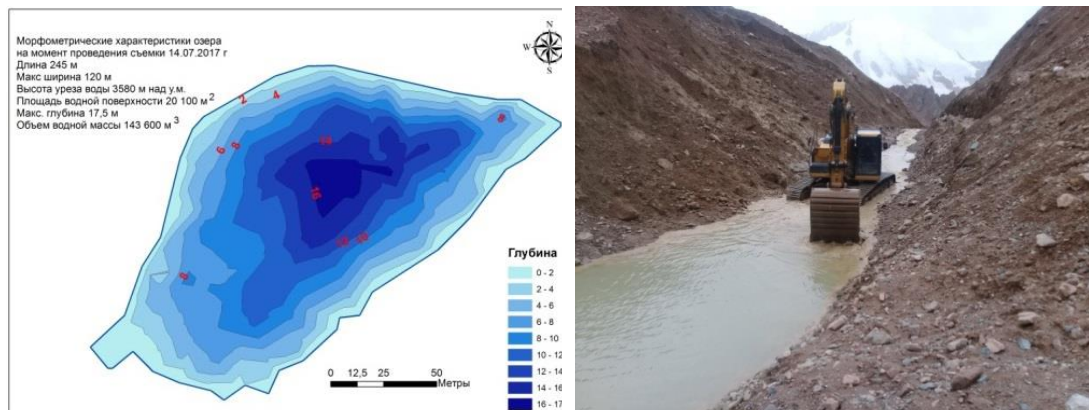


Рис. 6. Озеро под ледником Маметовой. Батиметрическая карта 2017 г. Работы по углублению канала стока проводятся с применением тяжелой техники.

Озеро № 5 (или 13бис) под ледником Советов максимальных размеров достигало в 2015 году. При максимальной глубине 16,5 м и площади 43 тыс. м² объем озера составлял 305 тыс.м³. Меры по снижению уровня воды, начатые Казселезащитой в том же году и продолженные в 2016-2017 гг. с применением сифонов, насосов и углублением канала стока, позволили уменьшить площадь зеркала до 37,2 тыс.м², а объем водной массы до 182,3 тыс.м³ при максимальной глубине 12,8 м. (рис. 7).

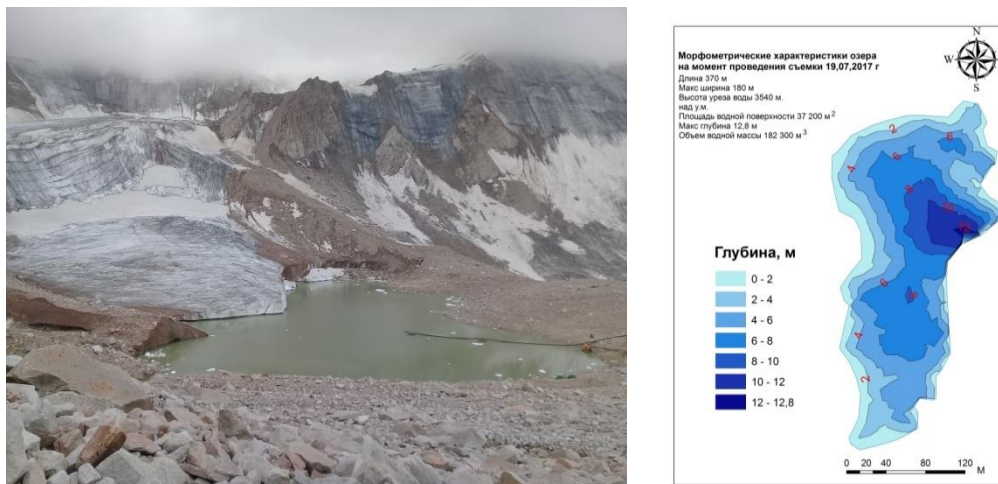


Рис. 7 Озеро № 15 в верховья реки Улкен Алматы и батиметрическая карта 2017 г.

Кроме вышеуказанных озер в 2017 году превентивные работы проводились в бассейне р. Аксай на озере № 1, Каскелен на озере № 8, Талгар на озере № 11.



Заключение

В результате исследований по состоянию на 2017 г. в гляциально-нивальном поясе северного склона Иле Алатау выявлено 154 ледниковых озера, общей площадью 2,28 км². В том числе 17 озер, расположенных в высотном диапазоне 3400-3750 м отнесены к категории высокой степени селевой опасности. В условиях продолжающегося потепления климата и интенсивной деградации ледников сохраняется высокий риск разрушения дамб этих озер с формированием разрушительных селей, что обуславливает необходимость продолжения мониторинга состояния ледниковых озер на постоянной основе с профилактическими мероприятиями по снижению объемов воды в озерах для снижения риска формирования гляциальных селей. Опыт этих работ может быть полезен для выполнения аналогичных работ в других горных районах.

Работа выполнена в рамках грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан по проекту «Эволюция снежности зоны формирования речного стока Балкаш-Алакольского бассейна в условиях меняющегося климата как фактор водной безопасности и устойчивого развития» № AP05133077.

Список литературы

- Blagovechshenskiy V., Kapitsa V., Kasatkin N. (2005). Danger of GLOFs in the mountain areas of Kazakhstan. *Journal of Earth Science and Engineering*, 5: 182-187.
- Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. (2011). Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*, 59: 1691-1714.
- Borodavko P.S., Glazirin G.E., Herget J., Severskiy I.V. (Hrsg.) (2013). Hazard assessment and outburst flood estimation of naturally dammed lakes in Central Asia. 131 p.
- Huggel C., Käab A., Haeblerli W., Teyssie P., Paul, F. (2002). Remote sensing-based assessment of hazards from glacier lake outbursts: A case study in the Swiss Alps. *Can. Geotech. J.*, 39: 316-330.
- Kapitsa V., Shahgedanova M., Machguth H., Severskiy I., Medeu A. (2017). Assessment of evolution and risks of glacier lake outbursts in the Djungarskiy Alatau, Central Asia, using Landsat imagery and glacier bed topography modelling. *Natural hazards earth System Sciences*, 17(10): 1837-1856.
- Kutuzov S., Shahgedanova M. (2009). Glacier retreat and climatic variability in the eastern Terskey-Alatau, inner Tien Shan between the middle of the 19th century and beginning of the 21st century. *Global and Planetary Change*, 69: 59-70, doi:10.1016/j.gloplacha.2009.07.001.
- Narama C., Käab A., Duishonakunov M., Abdrakhmatov K. (2010). Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~ 1970), Landsat (~ 2000), and ALOS (~ 2007) satellite data. *Glob. Planet. Change*, 71: 42-54.
- Severskiy I., Shahgedanova M., Kogutenko L., Usmanova Z., Saidaliyeva Z., Kapitsa V., Yegorov A. (2017). The features of changes of air temperature in the geo unit plains-mountains in Central Asia. Abstract of Third International Conference "Mountain Hydrology for the Sustainable Development", 10-11 April, 2017, Kathmandu, Nepal. 89 p.
- Severskiy E.V. (2009). State of cryolitogen thickness of North Tien Shan. In: Assessment of snow, glacier and water resources in Asia, edited by: Braun L.N., Hagg W., Severskiy I.V., Young G. UNESCO-IHP, Koblenz, 151-159.
- Sun H., Chen Y., Li W., Li F., Chen Y., Hao X., Yang Y. (2010). Variation and abrupt change of climate in Ili River Basin, Xinjiang. *J. Geogr. Sci.*, 20(5): 652-666.
- Wang S., Zhang M., Li Z., Wang F., Li H., Li Y., Huang X. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960, *Journal of Geographical Sciences*, 21(2), 263-273, 2011.
- Wang X., Ding Y., Liu S., Jiang L., Wu K., Jiang Z., Guo W. (2013). Changes of glacial lakes and implications in Tian Shan, central Asia, based on remote sensing data from 1990 to 2010. *Env. Res. Lett.*, 8: 1-11.
- Бижанов Н.К., Виноходов В.Н., Кулмаханов Ш.К., Нурланов М.Т., Попов Н.В. (1998). Безопасность и контроль гляциальных селей в Казахстане. Алматы.
- Благовещенский В.П., Капица В.П., Касаткин Н.Е. (2014). Составление каталога приледниковых озер в Иле (Заилийском) Алатау. Материалы Международной конференции «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии». Бишкек, Кыргызстан, 8-9 сентября 2014, 296-299.



- Вилесов Е.Н., Хонин Р.В. (1967). Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог ледников СССР. Т. 13. Центр и Южный Казахстан. Вып. 2. Ч. 1. Бассейны левых притоков р. Или от устья р. Курты до устья р. Тургенъ. Л.: Гидрометеиздат, 78 с.
- Вилесов Е.Н. (2016). Динамика и современное состояние оледенения гор Казахстана. Алматы: Қазақ университеті, 268 с.
- Есенов У.Е., Деговец А.С. (1981). Противоселевая защита г. Алма-Аты. Проблемы противоселевых мероприятий, Алма-Ата, 260-270.
- Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. (2011). Изменение ледниковых систем северного склона Заилийского Алатау во второй половине XX и начале XXI вв. Лед и снег, 4: 39-46.
- Попов Н.В. (1986). Исследование озер гляциальной зоны юго-востока Казахстана с целью оценки возможности их прорывов и мониторинга селеопасности. Автореферат дисс. кандидата геогр. Наук. Алматы.
- Попов Н.В. (1981). Количественная оценка и причины формирования селей в бассейне реки Иссык. Проблемы противоселевых мероприятий, Алма-Ата, 158-165.
- Шушарин В.И., Попов Н.В. (1980). Отчет о паспортизации моренных озер Заилийского Алатау. Алма-Ата, 115 с.