

ДИСТАНЦИОННЫЙ И НАЗЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Крыленко И.Н.¹, Петраков Д.А.¹, Черноморец С.С.², Тутубалина О.В.¹, Шахмина М. С.¹, Крыленко И.В.¹, Норин С.В.¹

1 - Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,

2 - Университетский центр инженерной геодинамики и мониторинга, Москва

В настоящее время в связи с деградацией оледенения все более актуальной становится проблема выявления и мониторинга потенциально прорывоопасных ледниковых озер. Большинство из них находятся в труднодоступных верховьях речных долин, и зачастую неизвестными являются не только современное состояние существующих озер и тенденции их развития, но и сам факт появления новых водных объектов. В тоже время, долины рек ниже по течению сильно освоены, и прорыв озера и сопутствующий ему водный или селевой паводок может привести к значительным разрушениям и человеческим жертвам, поэтому своевременная оценка потенциальной возможности прорыва ледникового озера позволяет наладить более детальные наблюдения за ним и сократить возможные ущербы.

Как показал опыт исследований, которые проводятся коллективом авторов статьи на протяжении последних 10 лет на Центральном Кавказе, оптимальным для мониторинга ледниковых озер представляется комплексное применение данных дистанционного зондирования Земли и регулярных наземных обследований на ключевых участках. Результаты дешифрирования космических и аэрофотоснимков позволяют выявить наиболее активно развивающиеся озера, а для оценки состояния озерных перемычек и объемов воды в озерах необходимо проведение полевых исследований.

Общая картина современного состояния озер Центрального Кавказа была выявлена в процессе создания геоинформационной базы данных ледниковых озер рассматриваемой территории, выполненной на основе дешифрирования космических снимков Landsat ETM+ за 1999 - 2001 гг. и материалов полевых маршрутов. База данных на настоящий момент включает 71 озеро и охватывает верховья долин рек Баксан, Чегем, Черек, Урух, Ардон, озера склонов г. Эльбрус и г. Казбек [6].

В данном докладе более детально рассмотрим ледниковые озера района высочайшей точки Кавказа – горы Эльбрус (бассейны р. Баксан и Малка).

К юго-западным склонам Эльбруса приурочены истоки р. Баксан, Правобережные притоки р. Баксан берут начало на склонах Главного Кавказского хребта. Долина р. Баксан – наиболее освоенная и посещаемая долина республики Кабардино - Балкария. Нами выполнены наземные обследования и батиметрические съемки всех крупных озер верховий р. Баксан, проведен анализ их изменений за последние годы путем сопоставления топографических карт и разновременных аэро- и космических снимков.

Самое крупное высокогорное озеро бассейна р. Баксан - оз. Сылтран объемом более 2 млн. м³ (табл. 1). Однако состояние озера на настоящий момент является устойчивым, а основное внимание привлекают в два раза меньшие по объему, но активно развивающиеся озера Башкара и Лапа, расположенные у края ледника Башкара в долине р. Адыл-су (правый приток Баксана).

Озеро Башкара между у правой ветви одноименного ледника существует с 30 - 40 гг., появление озера в нижней части ледника относится к концу к началу 90 гг. 20 в. (на аэрофотоснимке МСК-4 пространственным разрешением 1 м от 23.08.1990 г. озеро практически отсутствует). С начала 2000 гг. на озерах у ледника Башкара нами проводятся ежегодные батиметрические съемки и наблюдения за уровнем воды. За период с 2001 по 2006 гг. объем озера Лапа увеличился в более чем в 5 раз (с 30 тыс. м³ до 140 тыс. м³), что говорило о его нарастающей селеопасности, вышележащее озеро Башкара

в этот период оставалось стабильным [4]. К летнему сезону 2008 г. темпы роста оз. Лапа уменьшились, однако начался резкий рост уровней оз. Башкара (что скорее всего связано с произошедшей перестройкой внутриледниковых каналов стока), в июле 2008г. уровни превысили максимальные наблюдавшиеся ранее на 3,5 м, и начался перелив воды через моренную перемычку. Таким образом, система озер у ледника Башкара на данный момент крайне нестабильна и вызывает угрозу прохождения прорывного паводка по долине р. Адыл-су с выходом его в р. Баксан.

Таблица 1

Морфометрические характеристики ледниковых озер

Озеро	Отметка уреза воды, м абс.	Объем, тыс. м ³	Площадь, тыс. м ²	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Дата промеров глубин и съемки
Бассейн р. Баксан						
Сылтран	3186	2200	158	36,2	13,9	28.08.2005
Башкара	2568	1030	90,6	36,8	11,4	11.08.2008
Лапа	2482	115	27,6	13,4	4,2	24.06.2008
Донгуз - Орун	2515	520	69,4	15,6	7,5	29.09.2004
Мал. Азау	3264	63,4	19,5	8,3	3,3	03.09.2005
Бассейн р. Малка						
у ледника Микельчиран (верхнее)	3262	42,6	17,7	5,7	2,4	28.07.2006
у ледника Микельчиран (нижнее)	3213	3	3,3	1,5	0,9	28.07.2006
у ледника Бирджалычиран -1	3290	10,7	9,6	5	1,1	23.07.2006
у ледника Бирджалычиран -2	3307	36,7	23,7	4,4	1,5	10.08.2007
у ледника Бирджалычиран -3	3307	13,7	10,79	2,6	1,3	25.07.2006
у ледника Бирджалычиран восточное нижнее -4	3170	155	58	10,1	2,7	27.07.2006
у ледника Бирджалычиран восточное верхнее – 5 ^{*1}	3195	550	84	19,4	6,5	26.07.2006

*1- прорвалось 11 августа 2006г., на настоящий момент котловина озера практически не заполнена водой

Для оценки параметров возможного паводка по долине р. Адыл-су в случае опорожнения озер у ледника Башкара были проведены расчеты на основе двумерной математической модели движения водных потоков *River* [1]. В качестве входного гидрографа принимался гидрограф, рассчитанный НИИ Севкавгипроводхоз [3] на основе модели Ю.Б. Виноградова [2] для случая спуска обоих озер. В результате получены серии карт затопления территории при прохождении прорывного паводка по долине р. Адыл-су. Согласно результатам расчета, время от начала подъема уровней до прохождения пика паводка составляет менее 3 часов. На протяжении долины имеется несколько участков с наиболее развитой инфраструктурой, на которыххождение прорывного паводка приведет к наиболее неблагоприятным последствиям – будет затоплена пониженная территория долины у альплагеря Джантуган, где в летний период располагается палаточный туристический лагерь, а на участке впадения р. Адыл-Су в р. Баксан значи-

тельные скорости течения и глубины потока создадут риск разрушения мостовых переходов и коммуникаций.

Второй ключевой участок мониторинга – ледниковые озера северного склона Эльбруса, где выделяется 6 основных ледников, с которых берут начало истоки реки Малки. Наиболее крупным объектом, подвергающимся опасности схода селевых потоков при прорыве озер на северных склонах Эльбруса, является курорт Джилысу, приуроченный к минеральным источникам у слияния рек Бирджалысу и Кизилкол, дающих начало р. Малке.

Для анализа состояния озер северного склона Эльбруса использовались материалы космических снимков *Landsat ETM+* за август 1999 г. и *SPOT-2* и *SPOT-4* за август 2006 г. и топографическая карта 1957 г. масштаба 1:10 000. Было выявлено, что с 1957 по 2006 гг. площадь ледниковых озер в верховьях Малки увеличилась в 6 раз (с 40 до 250 тыс. м²).

Для более детальной оценки состояния этих озер в ходе экспедиционных исследований в 2006 г. было выполнено их наземное обследование - определены площади, объемы озер (табл. 1), состояние моренных плотин и выявлены наиболее прорывоопасные озера. Было установлено, что одно из озер у ледника Бирджалычиран с объемом воды около 550 тыс. м³ может прорваться в ближайшее время. Оно было подпружено ледяной плотиной высотой 15-20 м, возвышавшейся над уровнем озера всего на 80 см. Расчет ориентировочного времени прорыва был проведен с помощью экстраполяции зависимости абляции льда от высоты, используя значения для репрезентативного кавказского ледника Джанкуат (находящегося в 30км от этого места). По нашему прогнозу, сделанному 27 июля, максимальной вероятностью прорыва была в начале второй декады августа. Фактически прорыв произошел 11 августа, ниже по долине сформировался водокаменный сель, отложениями которого были погребены часть минеральных источников и нарушена инфраструктура курорта Джилысу. Таким образом, в данном случае удалось успешно спрогнозировать формирование прорывного селя.

Выполнено при поддержке грантов РФФИ 060564787, РФФИ 070500172, SFP 982143, CLG 983030

Список литературы:

1. Беликов В.В., Милитеев А.Н. «Комплекс программ для расчета речных течений <FLOOD>» // Российское агентство по патентным и товарным знакам. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ.№ 2002610941. М., 2002.
2. Виноградов Ю.Б. «Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки», Л., «Гидрометеиздат», 1977, 156 с.
3. Гнездилов Ю.А., Иващенко Е.Н., Красных Н.Ю. «Оценка гипотетического прорыва озера Башкара» // Сборник научных трудов «Севкавказпроводхоз», вып. 17, Пятигорск, 2007, с.120-142
4. Черноморец С.С., Петраков Д.А., Крыленко И.Н., Тутубалина О.В. , Алейников А.А. , Крыленко И.В., Тарбеева А.М. «Динамика ледниково-озерного комплекса Башкара и оценка селевой опасности в долине реки Адыл-су» //Криосфера Земли, 2007, Том XI, № 1, с. 72-84
5. Черноморец С.С., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Сейнова И.Б., Крыленко И.В. Прорыв ледникового озера на северо-восточном склоне Эльбруса 11 августа 2006 г.: прогноз, событие и последствия. - МГИ, вып. 102, 2007, с. 211-215
6. <http://www.glacier-hazard.narod.ru/>