

**АНАЛИЗ
существующих международных методик и лучших практик проведения
мониторинга селевой опасности и прорыва высокогорных озер**

В общем виде под термином мониторинг понимается «система постоянного наблюдения за явлениями и процессами, проходящими в окружающей среде и обществе, результаты которого служат для обоснования управленческих решений по обеспечению безопасности людей и объектов экономики» [1]. В рамках указанной системы происходит оценка, контроль объекта, управление состоянием объекта в зависимости от воздействия определённых факторов.

Применительно для условий Казахстана разработано более детальное определение мониторинга селевой опасности, под которым понимается «регулярное измерение, анализ и прогнозирование характеристик, указывающих на возможность селеформирования, наблюдение за ходом селевого процесса, обусловленного изменением характеристик селеформирующих факторов, прогноз характеристик селей во времени и пространстве, а также раннее оповещение об угрозе или возникновении селевого потока населения и служб ЧС с принятием управленческих решений по предотвращению ущерба от селей» [2].

Пожалуй, главным компонентом системы мониторинга селевой опасности является оповещение о возникновении селевых потоков, направленным непосредственно на спасение человеческих жизней и снижение прямых материальных ущербов. Офис ООН по снижению риска бедствий (UNISDR) определил раннее оповещение как «предоставление компетентными учреждениями своевременной и эффективной информации, которая позволит людям, подвергающимся опасности, выполнить действия, чтобы избежать или уменьшить риск и подготовить эффективные ответные меры» [3].

История развития человеческой цивилизации в горных районах включает отдельные эпизоды, напрямую связанные с гляциальными катастрофами в послеледниковый период, а также практики и методы мониторинга опасности, как отклик на возникающую угрозу. Одной из наиболее крупных гляциальных катастроф является прорыв временно подпруженных ледниками озер. Возникновение более известных завальных горных озер в результате оползней или обвалов, вызывает сходную ситуацию, но такие озера могут существовать и сотни, и тысячи лет. Ледниковые же плотины, сколь бы они не были мощными, недолговечны и разрушение, или прорыв такой плотины лишь вопрос достаточно короткого времени.

Прорывы ледниковых вод достаточно редки для отдельно взятого географического объекта, но для горных районов – они явление закономерное и повсеместное. Наблюдения за ледниковыми озерами и их прорывами, как наиболее очевидная часть системы мониторинга, начитывает сотни лет.

Многие события, касающиеся в той или иной мере мониторинга гляциальной опасности, документированы в Центральной Европе, в Альпах. Здесь многие озера, подпруженные ледниками, прорывалось десятки раз. Так, например, доку-

ментированная история многочисленных прорывов озера Маттмарк, возникавшим при блокировке ледником Аллалин долины р. Засер-Висп охватывает период с 1589 до 1920 гг. [4]. Озеро Рюитор, у одноименного ледника, прорывалось неоднократно с 1594 до 1864 гг., озеро Айсзее, подпруживаемое ледником Фернагт прорывалось с 1600 по 1848 гг. [5]. Озеро Марьелен у Большого Алечского ледника прорывалось в течение 1813-1947 гг. [6].

Широко известны прорывы ледниковых озер в Норвегии. Озеро Деммеватн подпруживалось ледником Рембесдальскаак и прорывалось с 1891 по 1938 гг., озеро Мельхедальсванг у ледника Мельхедал прорывалось 1855 по 1901 гг. [7].

Прорывы подруженных ледниками озер наблюдались в Исландии, где крупнейшим водоемом является оз. Гримсвётн с объемом около 7 км³. Вода здесь накапливалась за счет подледного таяния за счет вулканического тепла. Прорывные паводки имели место здесь регулярно в период с 1861 по 1971 гг. [8, 9].

Наиболее известными объектами на Аляске являются озера Джордж, образованное подпрудой ледника Ник и Тальсеква, у одноименного ледника. Озеро Джордж опорожнялось регулярно с 1899 по 1951 гг. с максимальным расходом 10200 м³/с [10], а озеро Тальсеква прорывалось соответственно с 1910 – 1958 гг. [11].

Прорывающиеся ледниковые озера известны в Приполярных районах северных широт на Шпицбергене, в Гренландии, на островах Канадского арктического архипелага, на Новой Земле [7, 12, 13].

Анды Южной Америки также богаты событиями прорывов подруженных ледниками озер. Так известны крупные прорывы озера у ледника Рио-Бланка в 1913 г. [14]. В 1934 г. вследствие продвижения ледника Невадо возникло подпрудное озеро, прорыв которого вызвал большие разрушения в долине р. Мендоса [15].

Грандиозные прорывные паводки отмечены в Азии: в Каракоруме, Гималаях, Тибете. В Каракоруме за последние 150 лет произошло более 50 случаев прорыва подруженных ледниками озер [16]. Крупнейшее озеро Гапшан в долине р. Шайок, подпруженное ледником Чонг-Камдан объемом более 3,5 км³ прорывалось многократно в период с 1780 по 1932 гг. [17].

Приведенная выше краткая сводка прорывов озер, подруженных ледниками показывает, что их активность пришлась на так называемый Малый Ледниковый период, когда значительное похолодание климата вызвало увеличение и активное продвижение ледников в различных горных районах Земли. Рост угрозы прорывов вызвал необходимость организации наблюдений за ледниковыми озерами даже тогда, когда научное понимание опасных процессов находилось в зачаточном состоянии.

Отсюда ясно, что проявление людских забот по предупреждению гляциальной ледниковой опасности имеет глубокую историю. Как и во многом другом, этот штрих истории имеет примеры, когда движущей силой была глупость и профанация. Вот несколько примеров. В 1607 г. в Альпах, на озере Рюитор, строится часовня; в 1677 г. на озере Айсзее (ледник Фернагт) сжигают бродягу, заподозренного в гляциально-паводковом колдовстве; в 1718 г. на леднике Гургуль в долине Ланг был организован крестный ход. Все эти мероприятия проводились только с одной целью – предупредить гляциальную селеопасность [18, 19].

Зачастую жители нижележащих населенных пунктов самостоятельно отправляли вверх наблюдателей, для того, чтобы своевременно сообщить о возникновении подпружного ледникового озера в преддверии его прорыва. Как правило, эти начальные признаки организации систем раннего оповещения, давали хорошие результаты.

В XX веке ледовая ситуация в горных районах резко меняется. Ледники стационарируют, отступают и переходят повсеместно в стадию деградации. Блокировки активным льдом речных долин практически исчезают. У концов языков горных ледников формируются валы современных морен, за которыми появляются подпруженные мореной ледниковые озера. Следуя за отступающими ледниками, такие озера интенсивно развиваются, растут и при достижении значительных объемов, начинают прорываться, формируя гляциальные паводки и селевые потоки.

В 1940-х и 1950-х гг. активное озерообразование в Кордильере Бланка (Перу) привело к формированию катастрофических селевых потоков. В верховьях реки Коуп 13 декабря 1941 г. возник селевой поток при прорыве озера Палькаоча, разрушивший город Уарас. При схожих обстоятельствах 17 января 1945 г. была опустошена значительная территория района Чевин-де-Уантар, где под слоем селевых отложений оказались погребенными остатки архитектурных сооружений одного из древних перуанских государств (знаменитое Кастилло). Эти обстоятельства вынудили правительство к организации комплекса профилактических работ на ледниковых озерах, а также созданию систем наблюдения и оповещения в наиболее опасных долинах рек [20, 21].

22 августа 1954 г. прорвалось озеро у слияния ледников Чийева и Розег в верховьях реки Инн (Ретийские Альпы). В Западных Альпах в долине Гадмен у ледника Штейн в конце июля 1956 г. произошел прорыв озера, вызванный разрушением моренной плотины. По реке Гамдервассер прошел мощный прорывной паводок. В Швейцарии в районе пика Флечгорн у ледника Валлис в 1957 и 1968 гг. происходили прорывы озер, приводившие к образованию селевых потоков объемом до 400 тыс. м³, под воздействием которых оказывался Заас-Бален. Поэтому необходимые действия по наблюдению и оповещению населения о гляциальной селевой опасности предприняты рядом альпийских государств в Европе в ответ на всплеск гляциальных селей [22, 23].

В Гималаях 21 сентября 1964 г. в бассейне реки Пумгу произошел прорыв озера Гельхайпуко (Gelhaipuco) объемом около 25,5 млн. м³. В результате прорыва уровень в озере упал на 40 м, а плотина была почти полностью прорезана. По реке прошел мощный паводок и селевой поток, разрушивший автодорогу Чентанг - Райво. В долине Пумгу поток нанес серьезный ущерб соседнему Непалу.

Ночью 11 июля 1981 г. внезапно прорывалось озеро в верховьях долины Жангзангбо 1,7 км длиной, площадью 0,643 км². Пик паводка прошел через 23 минуты после начала прорыва с расходом 1600 м³/с. Объем паводковых вод составил около 19 млн. м³. В современной фронтальной морене возник проран глубиной 50 м и шириной по низу 40-60 м. Сель разрушил автодорогу и мост между Непалом и Китаем, водозабор гидроэлектростанции Сан Коши, вызвав серьезный материальный ущерб в Непале.

На границе водосборов рек Кангма и Сикким в Сизанге (Тибет) на высоте 4560 м располагается подпруженное мореной озеро Ксубиксиама. Его длина 450

м, а ширина - более ста м. Конечная морена на 70 м возвышается над дном реки. Ночью 10 июня 1940 г. ледник позади озера обрушился в озеро. Волна вызвала разрушение плотины и последующий прорыв озера. Оцененный по меткам воды, оставленным после прорыва, расход достигал 3690 м³/с, а скорость потока 7,7 м/с. По оценкам свидетелей прорыв закончился через полчаса. Прорыв озера вызвал подъем воды в реке Ксиасима у Яадонга на 4-5 м, затопление улиц и разрушение некоторых домов.

В китайской сводке упоминается также случай прорыва озера Сангванг на границе с Бутаном, которое прорвалось ночью 16 июля 1954 г., в результате чего возникла 40 м волна, устремившаяся вниз по долине и сформировавшая конус выноса на равнине мощностью до 3-5 м [24].

В ночь с 7 на 8 июля 1998 г. в результате прорыва горного озера, расположенного у ледников Алаудин и Артабаши на северном склоне Алайского хребта, образовался мощный селевой поток, прошедший по системе рек Аксу - Шахимардан-сай. По данным оперативного обследования специалистов МЧС Кыргызии с вертолета, стихийное бедствие возникло в результате просадки и частично-го разрушения моренной плотины на высоте около 3700 м, в результате чего около трети объема ледникового озера с катастрофическими расходами прорвалось в нижележащую долину. В результате этого сформировался разрушительный селевой поток, устремившийся по реке Аксу и далее по реке Шахимардан-сай в Ферганскую долину. Поскольку южная часть Ферганской долины плотно заселена, на пути катастрофического потока оказалось несколько населенных пунктов Кадамжайского района Ферганской долины Кыргызской Республики и Шахимарданского анклава Республики Узбекистан. По оперативным данным МЧС Кыргызской Республики в результате стихии разрушены десятки домов, мосты, коммуникации, гидротехнические сооружения, погибло 46 человек.

Приведенные сведения показывают, что прорывы подпруженных мореной ледниковых озер (казахстанский аналог – моренные, морено-ледниковые озера) стали широко распространенным явлением, вступившим на замену практически исчезнувшим прорывам озер, подпруженных активным льдом.

По мере развития науки о селях, существенное развитие получили и современные методы мониторинга гляциальной селевой опасности. Наблюдение и контроль развития ледниковых озер в настоящее время во всех регионах осуществляется с преимуществом дистанционных методов зондирования, использования космических снимков, съемок с БПЛА, программ ГИС и Цифрового рельефа для дистанционного получения морфометрических характеристик ледниковых озер, детального анализа визуальной информации, выявления структурных элементов моренных плотин, путей ледникового стока и пр.

Идентификация потенциально опасных ледниковых озер и определение связанных с ними рисков, включая ранжирование критических озер, является первостепенной задачей. После того как выявлены критические озера, проектировщики, планировщики и ученые должны разработать и внедрить соответствующие меры для уменьшения рисков. Эти меры включают мониторинг, чтобы дать возможность своевременно выявить опасные изменения; системы раннего предупреждения, чтобы дать возможность населению и собственникам время для действий по спасению; смягчающие меры, чтобы изменить ситуацию и таким образом снизить риск.

Эффективный мониторинг прорывоопасных озер и системы раннего оповещения являются важной частью подготовленности к бедствиям, так как могут значительно уменьшить человеческие жертвы и материальный ущерб. Они могут использовать космические снимки, беспилотные летательные аппараты с портативными камерами, телекоммуникации и широковещательные системы. Ниже дается характеристика достигнутого зарубежного опыта в сфере организации и проведения мониторинга селевой опасности и прорыва высокогорных озер.

Индия, Непал и Бутан. В этих странах достигнут большой прогресс в организации мониторинга и оповещения о селевой опасности. В Индии существует Государственная комиссия по смягчению и адаптации к изменению климата, которая также предпринимает усилия в этом направлении. Интерес представляет система раннего оповещения в бассейне реки Сатледж в Индии. В бассейне реки Сатледж в Индии предпринят ряд мер по мониторингу и раннему оповещению паводков, особенно ливневых [25]. Эти меры также действуют и для прорывных паводков. Телеметрические станции, установленные Отделом снега и гидрологии Центральной водной комиссии в Сумдо на слиянии рек Паречу и Спити, на слиянии рек Спити и Сатледж и по проекту Напта-Джакри в Дублинге, предназначены для контроля любого увеличения водности и передачи информации. Они должны устранить нарушения в раннем предупреждении после наводнения в 2000 году, а также обеспечить безопасность гидроэнергетических проектов. Подобная беспроводная сеть на Реконг Пео используется пограничниками. Национальный план действий по адаптации к изменению климата, подготовленный в Бутане, имеет значительный акцент на уменьшение уязвимости от гляциальных селей.

Автоматическая система предупреждения геологических опасностей в Индии объединяет оценку опасности и передачу предупреждения [29].

Предлагается построить такую систему на Интернет-ресурсах и сотовой связи, использующих пространственно привязанные данные. Модули: ввода, обработки, оценки, вывода и предупреждения. Гибкость системы позволяет объединять различные виды оценок опасностей коммуникационных систем, что приводит к созданию обобщенной системы предупреждения.

Система была опробована на оценке оползневой опасности в Индии. Использовались факторы оползнеобразования и прогноз дождей, карта оползневой опасности. Шаг моделирования от 10 до 50 с. Такая система очень полезна для густо населенных районов.

Система раннего оповещения в долинах Тшо Ролпа и Тамакоши, Непал. Озеро Тшо Ролпа в бассейне Тамакоши в Восточном Непале питается ледником Тракардинг и является одним из немногих изученных детально ледниковых озер, включая полевые исследования озера и долины ниже него [26]. Эти исследования привели к пониманию в 1990-е годы, что риск, связанный с озером, уровень которого поднялся до перемычки конечной морены, являющейся дамбой, был очень высоким. Это вызывало опасение, что расположенная ниже долина Ролвалштг может быть затоплена катастрофическим потоком, что вызовет большие человеческие жертвы и нанесет серьезный ущерб инфраструктуре, в том числе проекту ГЭС 60 MW Кхимти. Попытки значительно уменьшить риск были широко документированы. Хотя система раннего оповещения была бы успешной, возникли серьезные проблемы в результате вмешательства местного населения.

Система раннего оповещения нужна только в течение короткого периода, пока выполняется проект или по другим причинам, когда идентифицируется значительный риск. В июне 1997 года система раннего оповещения была установлена правительством Непала как экстренная мера для местных деревень и проекта ГЭС. Экстренная мера была необходима ввиду быстрого ухудшения состояния моренной дамбы и снижения уровня озера. Системы раннего оповещения были расположены в долинах Ролвалинг и Тамакоши. Армейские лагеря были установлены у края морены и в деревне Наа, ближайшей к озеру. В деревнях Наа и Беддинг находились полицейские посты. Они были оснащены высокочастотными радиопередатчиками и регулярно связывались со штаб-квартирами в Катманду. Армейские посты также имели спутниковые телефоны. Один из телефонов использовался для связи дважды в день со службой предупреждения бедствий Министерства внутренних дел. В случае прорыва озера радио Непала передало бы сигнал бедствия [27].

В январе 1998 года был подписан контракт с канадской компанией на создание системы раннего оповещения в Тшо Ролпа. Проект был профинансирован Всемирным банком. Его стоимость \$ 1 032 000. Первая система была установлена в мае 1998 года. Датчики прорыва должны были определить прорывной паводок и сообщить на передающую станцию, которая приводит в действие процесс оповещения. Население оповещается звуковым сигналом. Система полностью автоматизирована и не требует человеческого вмешательства.

Система обнаружения схода селя состоит из 6 датчиков уровня воды, установленных вдоль берега реки сразу за выходом из озера, чтобы определить факт прорыва. Три датчика соединены бронированными и экранированными кабелями с двумя независимыми передающими станциями, расположенными на безопасной высоте в 80 м от датчиков. Датчики находятся на разных высотах, что позволяет определять стадии подъема воды. Таким образом, сенсорная система определяет момент прорыва озера немедленно и передает сигнал тревоги в течение двух минут с момента прорыва. Удаленная станция в деревне Наа оповещает местное население об угрозе.

Система предупреждения включает 19 предупреждающих и ретрансляционных станций в 17 деревнях в долинах Ролванг и Тамакоши (Рис. 1).

Станции предупреждения стоят на мачтах высотой 4,67 м. Антенны установлены на продолжении мачты на высоте 5 м над землей. Громоотводы и солнечные панели смонтированы на той же мачте. Передатчик и реле для сирены смонтированы в металлическом ящике, прикрепленном к мачте. Сирены действуют от цилиндров со сжатым воздухом в течение 2 мин. Они производят звук силой 80 децибел, который слышен на расстоянии 150 м. Имеются резервные электрические сирены, которые работают 4 мин. Системы предупреждения основаны на радиотехнологии прямой видимости. Сигнал предупреждения транслируется от одной станции до другой.

Сигнал раннего предупреждения передается автоматически при обнаружении прорыва озера. Второй компонент системы был установлен на станции слежения за метеоритами, расположенной в Dhangarhi, Западный Непал. Эта станция может передавать сигнал на 1600 км. Несколько станций предупреждения, а также сенсорная станция могут передавать и принимать сигналы от метеоритной станции, что создает дополнительный резерв системы.



Рисунок 1. Система раннего оповещения о сходе селя в долине Тамакоши: а – станция приема сигнала о прорыве озера; б – станция подачи сигнала предупреждения о сходе селя с сиреной.

Таким образом, метеоритная станция обеспечивает связь между станциями, расположенными в долинах Ролванг и Тамакоши, и станцией мониторинга в Катманду. В 2002 году, через 4 года после установки, система раннего предупреждения перестала работать, несмотря на надежность и применение новейших технологий. Это произошло из-за недостатка участия местного сообщества, политической нестабильности в Непале, когда вопросы безопасности населения отошли на второй план. В результате система была разрушена, а ее компоненты разобраны населением на свои нужды. Население посчитало, что уровень озера снижен до безопасного уровня, и потеряло интерес к системе предупреждения. Сыграло свою роль также то, что система несколько раз передавала сигналы ложной тревоги.

Система раннего предупреждения в Верхнем Бхоте Коши, Непал. Другой пример системы раннего предупреждения имеет место в Восточном Непале. Система была установлена в 2001 г. для проекта ГЭС в Верхнем Бхоте Коши [28]. Она состоит из двух дистанционных сенсорных станций и логгеров возле моста Дружбы на границе Непала и Китая. Логгеры принимают, анализируют и передают данные от сенсоров. Если уровень воды резко поднимается, система будет передавать сигнал предупреждения на ГЭС. В этой системе имеется 7 датчиков прорыва озера на мосту Дружбы, один из них – ультразвуковой датчик уровня воды, шесть датчиков поплавкового типа. Система работает на УКВ радиосигнале, предупреждающая сирена – на сжатом воздухе, издавая звук 127 децибел, слышимый на 33 м. Таких станций 5 вдоль реки, но система установлена только на границе Непала и Китая.

Отсюда только 6 мин требуется для передачи сигнала предупреждения на ГЭС. Чтобы быть действительно полезной, система должна быть распространена

выше по течению в Китай. В 2009 г. она продолжала действовать в основном из-за интереса для проекта ГЭС.

Мониторинг озера Имджа в районе Эвереста, Непал. Озеро Имджа – одно из самых быстрорастущих озер в Гималаях. ИСИМОД наблюдает озеро для разработки системы раннего предупреждения. Дистанционная сенсорная система (использующая гео-ИСТ инструменты и технологии) разработана в сотрудничестве с Департаментом национальных парков университетом Keio, Япония (Рис. 2). [28].



Рисунок 2. Система мониторинга прорывоопасного озера Имджа: а – верхний полевой сервер на озере Имджа; б – солнечная панель полевого сервера; в – вид с верхнего полевого сервера на озеро; д – вид с нижнего полевого сервера на поселок Намче Базар.

Два наблюдательных устройства или полевых сервера – интернет-робот для полевых наблюдений – были установлены на берегу озера на высоте 5000 м и рядом с ближайшим поселком Намче Базар в 2007 г. Полевые серверы получают изображение озера и Намче Базара и метеорологические данные. Они передаются в режиме реального времени по Wi-Fi на сервер, расположенный в Японии. Департамент гидрологии и метеорологии сделал расчет прорывного паводка, ис-

пользуя модель прорыва дамбы. Также планируются подробные исследования и картирование опасности для населения от рисков, связанных с обвалами и оползнями.

Международный центр комплексного развития горных районов (ICIMOD) является региональным межправительственным центром обучения и обмена знаниями, обслуживающим восемь региональных стран-членов гималайского региона Гиндукуш — Афганистан, Бангладеш, Бутан, Китай, Индию, Мьянму, Непал и Пакистан — и глобальное горное сообщество. ИСИМОД проводит моделирование прорывных паводков для нескольких озер. Моделирование включает оценку социально-экономической уязвимости озер и расположенных ниже территорий. Была выполнена классификация территорий и поселений по четырем уровням риска. Она основана на оценке потенциальных потерь при наихудшем сценарии прорыва озер.

Департамент гидрологии и метеорологии Непала разработал систему прогнозирования наводнений в бассейне р. Карнали, основанную на вероятностном моделировании с визуальным отображением результатов [26]. При этом удалось увеличить заблаговременность с 2–3 до 7–8 ч. Планируется распространить этот метод на весь Непал. Всего в Непале действуют 286 метеостанций и 170 гидропостов. В бассейне Карнали 7 гидропостов и 25 осадкомерных станций работают автоматически. Станции обслуживаются местным населением. Сеть автоматических осадкомеров связана с национальной сетью раннего предупреждения через Интернет. Данные приходят через каждые 15 мин.

В период дождей публикуется бюллетень предупреждения о наводнении на правительственном сайте. Предупреждение распространяется среди местного населения. Используются коммуникационные чаты. Предупреждение рассылается автоматически при превышении критических значений. При критическом уровне воды включаются сирены. Оповещения рассылаются местным властям, органам ЧС и армии в СМИ. К оповещению подключаются местные средства: сирены, громкоговорители. Приводятся в действие местные силы первой помощи, поиска и спасения.

Система раннего предупреждения в районе Лунана, Бутан. Район Лунана в верховьях реки Пхо Чху в Западно-Центральном Бутане имеет большой интерес у властей Бутана. Прорыв озера Луггайе Тшо 7 октября 1994 г. вызвал большой ущерб, погибли 23 человека [26].

Управляемая человеком система раннего предупреждения была установлена отделом предупреждения наводнений Департамента энергетики. Два сотрудника отдела предупреждения постоянно находились у озера Лунана. У них были беспроводные и спутниковые телефоны для сообщений об уровне воды и выдачи предупреждений для населения. На озере и вдоль реки было установлено несколько осадкомеров. Японское международное агентство по кооперации и комиссия по национальному достоянию подписали соглашение по изучению прорывных паводков в Бутане. Задача – создать сеть обмена спутниковыми данными для исследований, составить каталог исторических увеличений озер, оценить факторы риска и механизмы образования прорывных паводков и рекомендовать эффективные контрмеры, такие, как установка систем раннего предупреждения.

Системы раннего оповещения в Европе. В 1995 г. в Восточных Итальянских Альпах установлены 4 сейсмодатчика на расстоянии 1 км друг от друга на участках, не подвергающихся воздействию селей. 5 июля, 22 июня и 8 июля 1995 г. были зарегистрированы 3 селя. Удалось оценить скорость их движения. Сейсмодатчики способны обнаружить селя на дальних подступах, если они входят в систему автоматизированного мониторинга и предупреждения [30].

В Швейцарских Альпах есть система предупреждения о селях в кантоне Valais [31]. В долине Иллграбен в бассейне р. Рона с 2000 г. работает станция наблюдений за селями. Система предупреждения состоит из 4 модулей: осведомленность и подготовленность к опасности, обнаружение селя и сигнализация о нем, геоморфологические наблюдения в селевом очаге, система раннего предупреждения на основе прогноза погоды. Система автоматически подает тревожный сигнал за 5–15 мин до подхода селя или паводка. В первый год было подано 20 автоматических тревог в виде световых сигналов и сирен для 3 селей и 16 паводков. Ложным был только один сигнал. Все явления были вызваны осадками, параметры которых (интенсивность и продолжительность) превышали критический порог.

Увеличение числа и тяжести последствий отдельных гидрологических бедствий в Швейцарии послужило причиной создания общей информационной платформы для природных опасностей [32]. Цель – создание комбинированной и удобной для визуального использования в реальном времени информации по безопасности, предоставляемой центрами предупреждения (Рис. 5).



Рисунок 5. Автоматизированный пост наблюдения на ледниковом озере (Бернские Альпы, Швейцария)

Это усиливает взаимодействие между центрами предупреждения, особенно при выпуске объединенных бюллетеней по критическим многопричинным явлениям. Эта платформа станет центральным информационным хабом для опасных природных явлений в Швейцарии. Платформа основана на Интернет-технологиях. В провинции Бозен-Больцано в Восточных Альпах Италии в бассейне реки Гадрия установлена новая станция мониторинга и раннего предупреждения.

ждения селей [33]. Она состоит из осадкомеров, радарных датчиков, геофонов, видеокамер, пьезометров (измерители давления) и измерителей влажности грунта. Для передачи данных и предупреждений используется радиотехнология. Станция работает три года. Зарегистрировано два селя. Система информации и предупреждения для небольших и средних селевых бассейнов успешно опробована в нескольких регионах Швейцарии. Система собирает такие данные, как прогноз погоды, измерения осадков, уровень воды, моделирование расходов [34].

Швейцарская компания Geopraevent разрабатывает и устанавливает системы мониторинга и раннего предупреждения о природных опасностях (сели, лавины, обвалы). Этой кампанией установлена система мониторинга селей в долине Шпрайтграбен, где сели угрожают автомобильной дороге. Система включает в себя несколько спусковых тросов, протянутых поперек селевого русла, радарный датчик уровня воды для оценки масштаба селя, вебкамеру с инфракрасной подсветкой, позволяющую в режиме реального времени днем и ночью следить за ситуацией. Система наблюдений объединена с системой предупреждений, которая включается при достижении критических значений измеряемых параметров. В систему предупреждения входят автоматические светофоры, сирены и текстовые сообщения местной администрации.

В 2014 г. по просьбе правительства Грузии компания Geopraevent установила систему раннего предупреждения селя в долине, по которой регулярно проходит обвал с горы Казбек [34]. Обвал и образующиеся сели перекрывают Военно-Грузинскую дорогу, соединяющую Грузию с Россией. В систему входят две станции. Одна станция контролирует ледник Девдорак, с которого происходят ледово-каменные обвалы. Вторая станция наблюдает за селевым руслом. На ней установлены два тросовых устройства для фиксации схода селя. Места установки выбраны так, чтобы при сходе селя было достаточно времени для перекрытия дороги и выхода людей и транспорта из опасной зоны. При сходе селя пограничная служба получает по радио автоматический сигнал тревоги. Одновременно в местные органы власти посылаются SMS сообщения. Местные власти имеют возможность следить за ситуацией в режиме реального времени. Таким образом обеспечена безопасность движения автотранспорта по стратегически важной дороге между Россией и Грузией.

Совместно с правительством Китая Geopraevent установила станцию мониторинга за ледниковым озером Кяджар в Синьцзяне. Озеро имеет объем 20 млн. м³. Оно прорывалось несколько раз, вызывая разрушительные паводки на реке Жаркент. На языке ледника установлена вебкамера, в русле реки – несколько радарных датчиков уровня воды. Данные передаются несколько раз в день по спутниковой связи на портал. При достижении критических значений уровня воды система автоматически рассылает предупреждения местной администрации через SMS. Первая очередь системы была установлена в 2011 году, станция на леднике – в 2012 г.

На трех ледниковых озерах под ледником Плайн Морте в кантоне Оберленд в Швейцарии были расположены глубинные датчики давления для контроля опорожнения озер через подземные каналы. В русле реки, вытекающей из озер, установлены датчики уровня воды в русле. Данные постоянно передаются на портал. При резком падении уровня воды в озерах или подъеме уровня воды в

русле реки автоматически рассылаются предупреждения в местную администрацию через SMS.

Автоматизированные системы раннего оповещения о прорывах ледниковых озер, подпруженных мореной применяются в практике Перу в Южной Америке. Примером может служить система, созданная в бассейне р. Санта на озере № 513 на высоте 4 428 м над уровнем моря (Рис. 6).



Рисунок 6. Станция и передающий центр на озере №513 (Перу).

Опыт разработки системы раннего предупреждения о селевой опасности в Кыргызстане. В Институте автоматизации и информационных технологий НАН КР в последние годы были инициированы и успешно развиваются научные исследования по разработке и внедрению информационных технологий мониторинга и оповещения паводковых и селевых проявлений [35].

Ценный опыт практической реализации современных информационных технологий мониторинга паводковых и селевых проявлений был получен учёными ИАИТ НАН КР при разработке и внедрении системы предупреждения о возникновении и прохождении катастрофических паводков и/или селей в случае выпадения ливневых дождей в бассейне реки Ала-Арча или при прорыве подпруженных (прорывоопасных) озёр ледников Аксай, Ала-Арча и Адыгене, расположенных в зоне Киргизского хребта и формирующих сток реки Ала-Арча. Эксплуатация разработанной системы позволяет реально оценивать риски от опасности поражения катастрофическими паводками и селевыми потоками и оповещать уже на ранней стадии начала природной катастрофы жителей долины реки Ала-Арча и города Бишкек, а также многочисленных отдыхающих, посещающих государственный природный парк «Ала-Арча».

Эффективность системы была продемонстрирована 31 июля 2012 г., когда в верховьях ущелья Адыгене около 9 ч по местному времени произошёл прорыв естественной плотины высокогорного озера Тез-Тор [35]. При прохождении катастрофического селя по р. Адыгене сработала система оповещения, и аварийный радиосигнал был принят центральной станцией системы. В целях предотвращения гибели людей – отдыхающих, находившихся на территории государственного природного парка «Ала-Арча», и персонала парка администрацией были приняты

экстренные меры по их предупреждению до появления большого потока воды. Все сотрудники парка, жители и отдыхающие были заблаговременно эвакуированы.

Для расширения спектра функциональных возможностей системы и повышения её надёжности разработан комплекс программно-аппаратных средств, который обеспечит выход базовой станции системы оповещения в Интернет. Каждая базовая станция будет оснащена автоматизированным диспетчерским пультом оператора станции. Станции связаны с центральным сервером системы, который включает централизованную базу данных и позволяет посредством сети Интернет удаленно контролировать параметры окружающей среды, полученные со станций мониторинга. Автоматизированная система мониторинга и оповещения (АСМО) имеет двухуровневую архитектуру. Реализация такой структуры позволит операторам базовых станций мониторинга оперативно реагировать на возникновение катастрофических селей и паводков.

На основе АСМО может быть создан единый координационный центр, который будет контролировать селепаводковую ситуацию в масштабах всей республики. При этом данные мониторинга будут доступны в режиме реального времени любому авторизованному пользователю сети Интернет. Функции безопасности и живучести системы мониторинга будут обеспечиваться специально разработанными алгоритмами функционирования АСМО и антивандальной подсистемой видеоконтроля работы периферийной аппаратуры. Антивандальная подсистема осуществляет видеофиксацию и передачу на базовую станцию системы оповещения зафиксированного изображения при появлении движущегося объекта в контролируемом секторе на расстоянии до 7 м. Видеоклипы записываются только в те моменты, когда в секторе контроля периферийной аппаратуры происходят какие-либо нештатные события.

При возникновении нештатной ситуации осуществляется немедленное оповещение оператора базовой станции, а также предупреждение (предостережение) потенциальному злоумышленнику о недопустимости с его стороны противоправных действий. При этом осуществляется воспроизведение заранее записанного звукового сообщения громкоговорителями, которые включаются при возникновении подобных ситуаций.

ГИС-технологии, при наличии достаточного объёма исходной информации, являются весьма эффективным инструментом для хранения, обработки и анализа результатов наблюдений [36]. Одно из самых важных достоинств ГИС – это возможность многоуровневого синтеза и анализа. Совмещая тематические данные различного содержания и анализируя результаты такого синтеза, исследователь может получить новую информацию и провести комплексный анализ широкого спектра факторов и условий селеформирования, которые могут включать в себя базу пространственных данных, накопленных за историю исследований селевого района. По этой причине геоинформационные системы стали общепризнанным инструментарием при осуществлении мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Этому также способствует удобство работы с пространственно-привязанной информацией в рамках ГИС, открытость (возможность расширения) наиболее распространённых ГИС-продуктов, таких, как ArcGIS, MapInfo, ArcView и др.

Автоматизированная система мониторинга параметров окружающей среды (АСМ ПОС) горных территорий осуществляет сбор и передачу информации о параметрах окружающей среды, оказывающих существенное влияние на формирование селевой и паводковой опасности в бассейнах горных рек. Предлагаемая АСМ ПОС объединяет функции системы распределенного мониторинга, обеспечивающей дистанционный сбор и предварительную обработку данных о параметрах окружающей среды горных территорий, информационной системы, обеспечивающей долгосрочное хранение данных мониторинга и автоматизированный доступ пользователей к этим данным, а также системы оповещения, обеспечивающей экстренное предупреждение о возникновении чрезвычайных ситуаций. Система позволяет осуществлять контроль широкого спектра параметров окружающей среды горных территорий. Для этого к периферийному модулю АСМ ПОС могут быть подключены любые датчики, имеющие аналоговый или дискретный выходной сигнал, а также датчики с цифровыми интерфейсами SPI, I2C, RS-232/485.

Система позволяет вести постоянный мониторинг таких параметров окружающей среды, как:

- уровни воды прорывоопасных озёр и речных водотоков;
- температура/влажность почвы и воздуха;
- давление;
- наличие и интенсивность (количество) осадков;
- вибрация грунта;
- скорость и направление ветра;
- мощность акустического шума;
- обнаружение в контролируемом секторе движущихся объектов.

Детектирование природной ЧС происходит при превышении максимально допустимого значения какого-либо ПОС, например, уровня водотока или аномальной скорости его изменения. Эти значения ПОС задаются оператором в режиме инициализации. При детектировании такого чрезвычайного события срабатывает устройство тревожной сигнализации базовой станции, и оператор получает информацию о возможном катастрофическом явлении посредством интерфейса оператора. Для проектируемой системы мониторинга Аламуд-Арча была закончена разработка и изготовлен рабочий образец типичной кустовой станции, предназначенной для установки в шести очагах зарождения паводков, селей, лавин и оползней. Применение на кустовой станции специализированного модуля измерения и контроля типа CR10X значительно расширило функции проектируемой системы мониторинга. Модуль (даталоггер) может одновременно обеспечить измерения и коммуникационные функции.

CR10X содержит полный набор средств обработки, математических вычислений, а также инструкции для создания программ управления регистратором данных. Модуль имеет клеммники для подключения восьми аналоговых и шести цифровых сенсоров, разъемы прямой связи и телекоммуникаций, контроля внешних устройств, энергонезависимой памяти. Питание от литиевой батарейки обеспечивает работу часов точного времени. Электроника защищена от сбоев и находится в запечатанном корпусе из нержавеющей стали.

Модуль CR10X в сборе с дополнительными элементами (сенсорами, модемами, блоком питания, солнечной батареей, аккумулятором, стойкой крепления и

др.) представляет собой многофункциональную систему измерения и контроля, различные виды которых широко применяются в мире (США, Канада, Израиль, Чехия, Китай, Казахстан и др.). Имеются примеры использования даталоггеров CR10X в необслуживаемых автоматизированных метеостанциях и в Кыргызстане [37].

В процессе испытания модуля был подключен ряд сенсоров (температуры, влажности, направления и силы ветра, солнечной активности, детонации, уровня жидкости и др.) со стандартными выходными сигналами. Для измерения давления, температуры воды, воздуха, снега, грунта применены стандартные датчики фирм Bosch, GM, Россия, которые, в силу их малых размеров, могут быть надежно замаскированы. Система мониторинга может работать в автоматическом и ручном режимах. Следует отметить, что автономная система мониторинга имеет блочно-модульную конструкцию, набрана из промышленно выпускаемых стандартизованных модулей и элементов, вследствие чего нет необходимости в проведении принятых обычно этапов испытаний, сертификации и тому подобных мероприятий. АСМ представляет собой довольно легкую (масса около 30 кг), малогабаритную, быстро настраиваемую конструкцию, которая набрана из современных, широко распространенных, серийно выпускаемых модулей и элементов, имеющих в свободной торговле, в том числе и на вторичном рынке КР.

АСМ можно установить в районе селеопасного очага, доставив оборудование гужевым или автотранспортом, пешком. В качестве примера изготовления мобильная конструкция автономной системы мониторинга, которая смонтирована на легковом автомобиле ВАЗ-2109, с возможностью перемещения её в горной зоне и временной установкой на заданном участке местности. Важным достоинством модуля CR10X является возможность подключения к нему разных видов каналов передачи информации между кустовыми и центральной станциями. Эти каналы приема-передачи данных представляют проводные (витая пара, коаксиальный кабель, телефонная линия), мобильные сотовые, радио и Интернет (оптоволоконные, беспроводные Wi-Fi и WiMAX) виды связи.

В настоящее время подтверждены некоторые слабые стороны мобильной сотовой связи, на которую первоначально возлагались большие надежды. Например, по результатам проведенных испытаний сотовой связи на территории размещения кустовых выявлены случаи плавления зоны уверенного приема сигнала на достаточно ровной по высоте территории и полное пропадание сигнала в ущельях, особенно со склонами, покрытыми деревьями и кустарниками. Сегодня наряду с привычной сотовой связью существуют системы транкинговой профессиональной мобильной радиосвязи (ПМР). Транкинговая подвижная радиосвязь (от англ. trunking – предоставление свободных каналов, trunk – магистральная линия связи) – система двусторонней подвижной радиосвязи, которая использует диапазон ультракоротких волн.

На практике система ПМР устроена аналогично сотовой: пользовательские терминалы и базовые станции (БС), оборудование для увеличения дальности связи – ретрансляторы и контроллер, который управляет работой станции, обрабатывает каналы ретрансляторов (коммутирует их) и обеспечивает выход на городскую телефонную сеть. Сети транкинга могут быть однозоновыми (содержать одну БС) или многозоновыми (несколько БС). Существуют аналоговые и цифровые системы транкинговой связи.

Использованная литература к разделу

1. Мониторинг//Гражданская защита: Энциклопедия в 4-х томах. Т. II (К – О) — М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 201 с.
2. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л., Степанов Б.С. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Алматы: Институт географии, Т. 2. Ч. 2. 2018. Основы мониторинга в Иле Алатау. 288 с.
3. Терминологический глоссарий по снижению риска бедствий. Женева: UNISDR, 2009. 39 с.
4. Marietan J. Mattmark et les glacier d'Allalin. – Bull. de Murithienne. 1965. No. 82. p. 129-148.
5. Lliboutry L. Les catastrophes glaciers. La Recherche. Mai 1971, vol. 2, No. 12, p. 417-423.
6. Schweizer W. Gletcherseen. Gedanken zur Klassifikation mit besonderer Berücksichtigung von Beiseilen aus den Schweizeralpen. Geografica Helvetica. 1957. Vol. 12, No. 2, p. 81-87.
7. Rabot Ch. Glacial Reservoirs and Theirs Outbursts. Geogr. Journal. 1905, vol/ 25, No. 5, p. 534-547.
8. King C. A. M. The Coast of South Iceland Near Ingolfshofdi. J. of Glaciology. 1956, vol. 122, No. 2, p. 241-246.
9. Thorarinsson S. Recentwork, Iceland. Ice. 1972, No. 38, p. 9.
10. Stone K. H. The Annual Emptying of Lake George, Alaska. Arctic. 1963, vol. 16, No. 1, p. 26-39.
11. Marcus M. G. Periodic Drainage of Glacial-Dammed Tulsequah Lake, British Columbia. Geogr. Review. January, 1960, p. 89-106.
12. Muller F. Ice. 1967, No. 23, p. 9.
13. Гросвальд М. Г., Корякин В. С. Прорывы ледниково-подпрудных озер в Советской Арктике. Материалы гляциологических исследований. 1962, вып. 6, М., Изд. ИГАН СССР, с. 130-132.
14. Lliboutry L. More About Advancing and Retreating Glaciers in Patagonia. J. of Glaciology. 1953, vol.2, No. 13, p. 168-172.
15. Pildich E., Discussion, K. Meison. The Study of Threatening Glaciers. Geogr. Journal. 1935, vol. 85, No. 1, p. 36-41.
16. Hewitt K. Glacial Surges in the Karakoram Himalaya (Central Asia). Canadian Journal of Earth Sciences. 1969, vol.6, No. 4, part 2, p. 853-861.
17. Mason K. The Study of Threatening Glaciers. Geogr. Journal. 1935, vol. 85, No. 1, p. 24-35.
18. 70 Ле Руа Ладюри Э. История климата с 1000 года. Л., Гидрометеиздат, 1971, 280 с.
19. Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л., Гидрометеиздат, 1977, 157 с.
20. Lliboutry L, Arnao B. M., Pautre A., Schneider B. Glaciological Problems set by the control of dangerous lakes in Cordillera Blanca, Peru. J. Of Gl., v. 18, No. 79, 1977, p. 239-254.
21. Carey M. Disasters, development, and glacial lake control in twentieth-century Peru. In Wiegandt E ed. Mountains: sources of water, sources of knowledge. Springer, Dordrecht, 2008, p. 181–196.

22. Haeberli, W. Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 4, 1983, p. 85–90.
23. Huggel C., Kääb A., Haeberli W., Teyssie P., Paul F. Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps. Published on the NRC Research Press Web site at <http://cgj.nrc.ca> on 7 March 2002.
24. Report on First Expedition to Glaciers and Glacier Lakes in the Pumqu (Arun) and Poiqu (Bhote-Sun Kosi) River Basins, Xizang (Tibet), China. Sino-Nepalese Investigation of Glacier Lake Outburst Floods in the Himalayas. Science Press, Beijing, China, 1988, p. 192.
25. Häusler H., Leber D. Final report of Raphstreng Tsho Outburst Flood Mitigatory Project (Lunana, Northwestern Bhutan). – Phase I. Vienna: University of Vienna, Institute of Geology, 1998.
26. Reynolds J.M. Glacial hazard assessment at Tsho Rolpa, Rolwaling, Central Nepal. *Quaternary Journal of Engineering Geology*, 1999, N 32, p. 209-214.
27. Bajracharya S.R., Mool P.K., Shrestha B.R. Global climate change and melting of Himalayan glaciers. In Ranade, P.S. (ed) *Melting glaciers and rising sea levels. Impacts and implications*. – Hyderabad: Icfai University Press, 2008, p. 28-46.
28. Richardson S.D., Reynolds J.M. An overview of glacial hazards in the Himalayas. *Quaternary International*. – 2000. – N 65/66. – P. 31-47.
29. Ghosh J. K., Bhattacharya D., Samadhiya N. K., Boccardo P. A generalized geohazard warning system. *Natural hazards*. 2012. Vol. 64. P. 1273-1289.
30. Flows // *Natural hazards*. – 1999. – Vol. 20. – P. 197-213.
31. Alexandre Bad, Christoph Graf, Jakob Rhyner, Richard Kuntner, Brian W. McArdeell. A debris-flow alarm system for the Alpine Illgraben catchment: design and performance. *Natural hazards*. 2009. Vol. 49. p. 217-539.
32. Heil B., Petzold I., Romang H., Hess J. The common information platform for natural hazards in Switzerland. *Natural hazards*. 2014, Vol. 70, p. 1673-1687.
33. Comiti F., Marchi L., Macconi P., Arattano M., Bertoldi G., Borga M., Brardinoni F., Cavalli M., D'Agostino V., Penna D., Theule J. A new monitoring station for debris flows in the European Alps: first observations in the Gadria basin. *Natural hazards*. 2014, Vol. 73, p. 1175-1198.
34. Romang H., Zappa M., Hilker N., Gerber M., Dufour F., Frede V., Bérod D., Oplatka M., Hegg C., Rhyner J. IFKIS-Hydro: an early warning and information system for floods and debris flows. *Natural hazards*. 2011, Vol. 56. p. 509-527.
35. Замай В.И. Проблемы мониторинга селевой опасности горных районов Казахстана. *Проблемы автоматики и управления*. 2014. № 2. с. 31-40.
36. Замай В.И. Методы и технические средства мониторинга селевой опасности горных территорий. *Проблемы автоматики и управления*. 2015, № 1, с. 148-157.
37. Ерохин С., Черны М. Мониторинг прорывоопасных озер Кыргызстана. Материалы международной конференции “Снижение риска природных катастроф в горах”. Бишкек: Салам, 2009, с. 34-37.