

**Сценарии (модели)
возможных чрезвычайных ситуаций в долине р. Улкен Алматы,
а также других ожидаемых последствий на базе современных методик**

1. Вводная часть

Бассейн реки Улкен Алматы располагается в центральной части северного склона хребта Иле Алатау и представляет собой территорию с активным проявлением чрезвычайных ситуаций природного характера, из которых в настоящее время наибольшую опасность представляют гляциальные сели, возникающие при прорывах морено-ледниковых озер (МЛО). Бассейн реки У. Алматы - один из наиболее селеопасных районов Казахстана.

Река У. Алматы состоит из трех составляющих - рек Кумбелсу, Озерной и Проходной, начинающихся из зоны современного оледенения на высотах свыше 4000 м. Река Озерная блокируется Большим Алматинским озером с селезащитным сооружением на гребне ее плотины, что позволяет перехватывать все селевые проявления, формирующиеся на этой территории. Река Проходная представляет меньшую опасность, и возможные сели, вероятнее всего ливневого характера, будут остановлены основной плотиной-селеуловителем на р. У. Алматы с емкостью селехранилища около 14 млн. м³ (Рис. 1).



Рисунок 1. Схема бассейна реки Улькен Алматы.

Особую опасность представляет река Кумбелсу, где расположен крупный селевой очаг (Кумбелский селевой врез), прорывоопасные морено-ледниковые озера, достаточно крупные ледники, мощный комплекс современных морен. Здесь сформировалось несколько селей ливневого и оползневого характера в 1950, 1981, 1988, 2003, 2006, годах, гляциальный сель 1975 года, а также выдающийся по своим параметрам катастрофический гляциальный сель прорывного характера в 1977 году.

Оценить реальную селеопасность района позволяет детальный разбор ситуаций, сложившихся в преддверии сформировавшихся прорывных селей. Ниже приводится краткий анализ обстановки, способствовавшей прорывам озер, проведенный по результатам наземных обследований непосредственно после произошедших событий.

19 августа 1975 года сформировался крупный селевой поток, разрушивший мосты и автодорогу в нижележащей долине реки У. Алматы. О причинах его образования единого мнения у исследователей не сложилось [1, 11, 14]. Факты таковы. На фронтальном уступе современной морены у небольшого висячего ледника Кумбель вблизи перевала Молодежный образовался достаточно крупный врез (первичный селевой очаг) глубиной 5-7 м с вертикальными бортами, сложенными мерзлой породой (Рис. 2).



Рисунок 2. Врез на морене л. Кумбель (1975 г.).

Утром на следующий день выше вреза обнаружено небольшое озеро №14 объемом 4000 м³. Было зафиксировано 15 сантиметровое понижение уровня вода в котловине. Также имело место небольшое поступление воды с ледника. Таким образом, объем воды в 150-200 м³ все-таки был сброшен во врез. Судя по всему, на фронтальном уступе плотины озера заложился талый массив, обводненный фильтрационными водами озера. Просадка талого участка вызвала дополнительный

поверхностный сброс воды из озера и подвижку всего талого массива, объем которого и составил массу селевого потока в несколько десятков тысяч м³ с расходом до 300 м³/с в долине реки У. Алматы.

На этом основании можно сделать вывод, что в условиях верховий реки Кумбелсу, прорывы даже небольших по объему водоемов способны вызывать процессы селеобразования.

Селевой катастрофе 3-4 августа 1977 года предшествовал ряд событий, непосредственно связанных с озером №13. Озеро, расположенное на высоте 3450 м абс. у ледника Советов, интенсивно развивалось, достигнув к 1974 г. объема в 230 тыс. м³, став самым крупным морено-ледниковым водоемом в окрестностях города Алматы. Юго-восточные склоны котловины слагались непосредственно телом ледника, а водоудерживающей плотиной служил гребень современной морены, где и располагалось сливное русло, по которому в период абляции осуществлялся поверхностный сток из озера. В зимний период в котловине озера подо льдом сохранялся значительный объем воды. В районе сложилась селеопасная ситуация, вынудившая предпринять превентивные меры.

За 1974-1975 гг. в результате «мелиоративных мероприятий» Казселезащитой уровень воды в озере был понижен на 2,5 м. Использовались накладные заряды взрывчатых веществ, небольшие попуски для «промывки русла» и доработка эвакуационного канала вручную, в результате чего объем водной массы озера сократился более чем вдвое, до 96 тыс. м³.

В 1976-1977 гг. никаких работ в русле не проводилось. У входа в канал рабочими была оставлена временная дамба (длина 3, высота около 0,5 м) из мешков с песком, уложенных в два ряда и стянутых между собой стальной проволокой диаметром 0,8 см, которая в силу этого представляла собой достаточно консолидированный объект. Перелив из озера, с расходом порядка 0,2-0,3 м³/с, осуществлялся спокойно поверх плотины по всему фронту. Состояние самой временной дамбы, русла и фронтальной морены в целом, на момент обследования 1 августа 1977 г, проведенного сотрудником Казгидромета (Н. В. Попов), опасений не вызывало. Во второй половине дня 3 августа 1977 г. озеро №13 прорвалось.

По данным Казселезащиты за 20 минут из озера №13 было сброшено более 88 тыс. м³ озерных вод, а пиковый расход при истечении, по различным оценкам, составил 180-210 м³/с, против обычного (бытового) стока реки 0,8 – 1,0 м³/с. Ниже Кумбельского селевого вреза по р. У. Алматы прошла серия селевых потоков с максимальным расходом самой крупной волны на выходе из горной долины до 10000 м³/с [8]. Помимо значительного материального ущерба, сель повлек человеческие жертвы.

Как и в случае с рассмотренным выше прорывом озера у ледника Кумбель в 1975 г., на перемычке озера №13 возник глубокий проран, а талый массив под 3-х метровой кровлей мерзлых пород оказался полностью вынесенным водным потоком (Рис. 3).



Рисунок 3. Проран после прорыва озера №13 (отмечен максимальный уровень заполнения озерной котловины, 1977 г.).

2. Теоретическое и методическое обоснование разработки сценариев прорывов МЛО в верховьях р. Кумбелсу и образования гляциальных селей в бассейне реки У. Алматы

Важным элементом оценки прорывоопасности морено-ледниковых озер служат условия формирования максимальных (пиковых) расходов, служащих пусковым звеном гляциальных селей.

Получить значения максимальных расходов воды при порыве озер, в случае уже реализовавшегося события, можно исходя из объема водной массы и времени истечения воды из котловины. Однако, в большинстве случаев этот метод применить невозможно, поскольку прорывы МЛО – редкие гидрологические явления и определить точно время опорожнения котловины не представляется возможным из-за отсутствия прямых наблюдений. Только в ряде случаев удалось пронаблюдать за падением уровня в воды в озерной котловине в процессе ее опорожнения, определить время истечения водной массы, получить значения пиковых расходов при прорывах МЛО.

Анализ данных непосредственных наблюдений и наземных обследований, выполненных по следам возникших прорывных гляциальных селей, позволяет выделить три основных механизма прорывов МЛО [12, 32]:

- *поверхностный по открытым ледовым каналам;*
- *подземный по ледовым туннелям (гротам, каналам стока);*
- *поверхностный по проранам в талых массивах современных морен.*

2.1. Прорывы озер по открытым ледовым каналам

Этот механизм достаточно хорошо изучен за рубежом для крупных озер, подпруженных ледниками. Впрочем, ряд исследователей полагают указанный механизм крайне редким и недостаточно «эффективным», поскольку при таких прорывах катастрофических явлений не возникало. Сам механизм опорожнения озера в таком случае достаточно прост: уровень воды в озере, удерживаемой ледяной подпрудой, достигает гребня плотины, начинается перелив в его самой пониженной части, что приводит к формированию открытого, углубляющегося за счет протаивания, ледового канала, постепенному снижению уровня воды в озере и опорожнению озерной котловины.

В горах Юго-Восточного Казахстана озер, подпруженных ледниками, нет, тем не менее, установлено, что с конца 1970-х г. за счет перелива по ледовому ядру современной морены, осуществилось опорожнение не менее десятка МЛО. Ранее подобных явлений в районе исследования не отмечалось, хотя подобные прорывы оказались просто вне поля зрения исследователей в силу их относительно спокойного осуществления. Максимальные прорывные расходы формируются примерно к половине времени полного опорожнения котловины.

Провести прямые наблюдения за ходом опорожнения МЛО по открытым ледовым каналам удалось в четырех случаях: озеро №17 у ледника Жарсай (правый) в бассейне р. Есик (1977 г.), озеро №8 у ледника Иглы Туюксу в бассейне р. К. Алматы (1981 г.), озеро №5 у ледника Калесника в бассейне р. Л. Талгар (1984 г.), озеро Богатырь в бассейне р. Шилик (1985 г.). В последнем случае опорожнение озера по открытому ледовому каналу было вызвано искусственно.

Описанный выше механизм опорожнения МЛО наименее опасен, поскольку формирование открытого канала в ледовом ядре морены занимает достаточно продолжительное время, а принимая во внимание ограниченные объемы воды, то и пиковые расходы не приводят к формированию катастрофических селевых явлений ниже по профилю долины (Рис. 4).

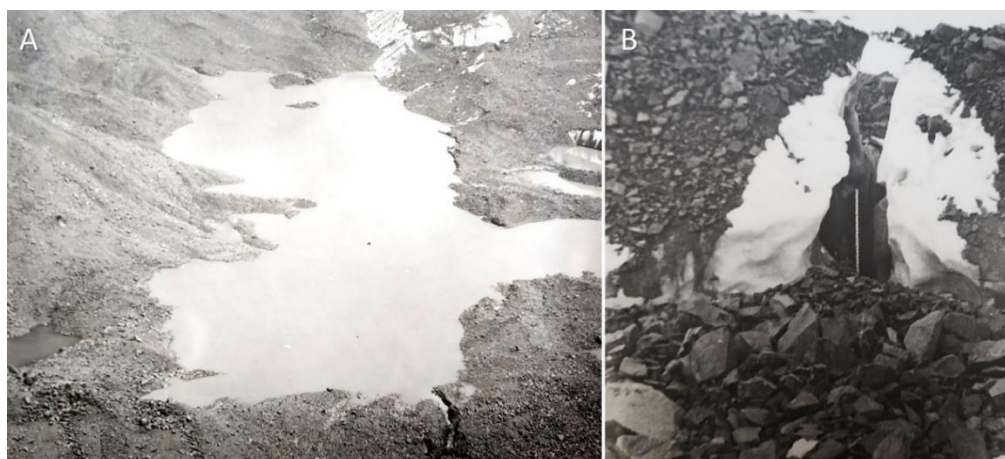


Рисунок 4. Открытые ледовые каналы при прорывах МЛО:

А – Прорыв озера №5 у л. Калесника (бассейн р. Л. Талгар 16 июня 1984 г.) с формирующимся открытым ледовым каналом в гребне современной фронтальной морены. В – Открытый ледовый канал после прорыва озера №8 у л. Иглы Туюксу (бассейн р. К. Алматы, 1981 г.).

Характерной особенностью рассматриваемого механизма опорожнения МЛО является постепенное нарастание расходов с пиком в средней части процесса истечения воды. Как правило, процесс формирования и интенсивного углубления канала начинается на наиболее крутом фронтальном уступе. Далее эрозия и термическое воздействие продвигает оголовок формирующегося канала в котловину озера, когда, по ее достижении и проходит пиковый расход.

Наблюдения для прорывов озер по открытым ледовым каналам, полученные прямой фиксацией падения уровня воды в озерных котловинах, были выполнены для озера №17 у л. Жарсай-правый (бассейн р. Есек) в 1977 г. и озера №5 у л. Калесника (бассейн р. Л. Талгар) в 1984 г. (Рис. 5).

Исходя из натуральных наблюдений расчет максимальных расходов при истечении воды по открытому ледовому каналу можно проводить по следующей формуле:

$$Q_{\max} = \lambda F \quad (1),$$

где Q_{\max} – максимальный расход воды, м³/с; λ - интенсивность протаивания канала, м/с; F – максимальная площадь водного зеркала, м².

Непосредственные наблюдения показали, что для условий Иле Алатау максимальные значения λ оказались очень близкими и в среднем составляли 0,00017 м/с или 0,612 м/час [16]. Интересно, что и на Кавказе, при переливе через ледовую плотину отмечалась такая же интенсивность углубления открытого канала за счет теплообмена (0,6 м/час) [6].

2.2. Прорывы МЛО по ледовым туннелям

Этот механизм наиболее часто реализовывался в районе Иле Алатау. В этом случае МЛО прорывались подземным путем, используя для сброса водной массы ранее существующие (унаследованные) подземные каналы стока.

Для МЛО нестационарного типа такие каналы стока представлены ледовыми туннелями, которые в течение многих лет играют транзитную роль для сброса талых ледниковых вод не задерживаясь в приледниковых котловинах. Такие туннели пронизывают весь моренно-ледниковый комплекс, включающий моренный рыхлообломочный чехол, а также мертвые льды и мерзлоту, слагающих ядро современных морен.

В случае перекрытия таких подземных каналов стока происходит кратковременное заполнение котловин, возникает озеро. В условиях современных морен следы наполнения таких озерных котловин стираются очень быстро и часто единственным свидетельством этого факта служат метки стояния горизонта воды, непродолжительное время сохраняющиеся на снежниках, обнажениях погребенных льдов.

Этот факт подтверждает мнение о том, что водная масса при таких эпизодических заполнениях МЛО формируется не за счет ледникового стока, поскольку период абляции еще не начался, а таяния сезонного снежного покрова на ледниках и окружающих котловины современных морен.

Выходы ледовых туннелей на поверхность расположены в пределах 300 м от дренируемых ими МЛО, а разница в уровнях может достигать 20-50 м. Живое

сечение туннелей обычно составляет 5-10 м². По данным наблюдений прорывы сопровождаются грохотом, выбросом воды и камней в нижнем бьефе озерных перемычек, что свидетельствует о напорном истечении воды при прорывах.

Для прорывов МЛО по рассматриваемому механизму характерно то, что пиковые прорывные расходы наблюдаются в начальный период опорожнения, а время истечения (сработки) водной массы не превышает нескольких часов. Исходя из этого, значение максимального прорывного расхода определяются площадью живого сечения и гидростатическим давлением в канале, зависящим от разности высот между горизонтом воды МЛО и выходным отверстием туннеля (Рис. 5).

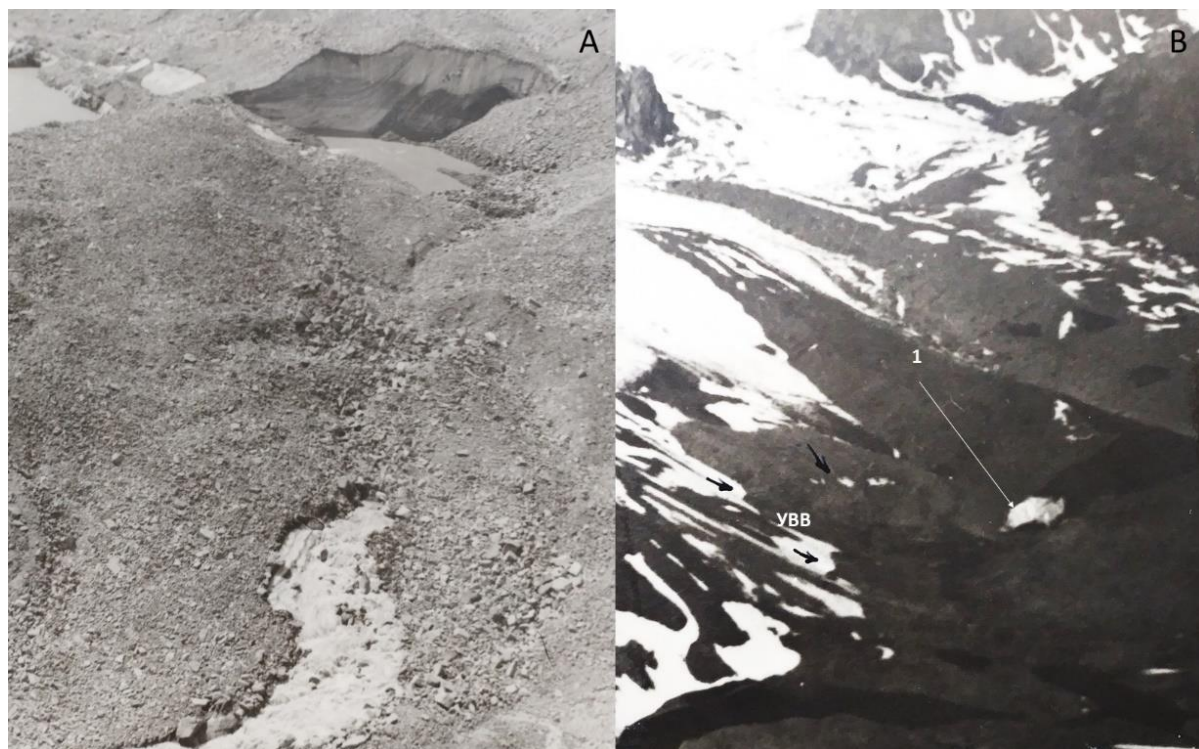


Рисунок 5 – Ледовые туннели при прорывах нестационарных МЛО:

А – прорыв озера №16 в бассейне р. Каскелен (23.07.1980 г.), внизу фото выход из туннеля и прорывной паводок, В – опорожненная котловина озера №17 у л. Жарсай (пр.) в июле 1963 г., отмечен уровень максимального заполнения озера. 1 – входное отверстие ледового туннеля, по которому и осуществился прорыв озера (из архива Казгидромета).

Туннельные прорывы МЛО известны для многих регионов. Оценка пиковых расходов, построение моделей опорожнения таких озер привлекли внимание многих исследователей. Ниже приведены эмпирические формулы для расчета пиковых расходов при прорывах МЛО в различных регионах Земли (Табл. 1).

Таблица 1. Эмпирические формулы расчета прорывов МЛО по туннелям, полученные для различных горных районов

Тип озерной площади	Расчетная формула	Ссылки
Ледовый	$Q_{max} = 75 (V/10^6)^{0,67}$	(2) Clague and Mathews, 1973 [21]
	$Q_{max} = aW^{5/4}\sqrt{H}$	(3)* Виноградов Ю. Б. 1977 [3]

	$Q_{max} = (tg\phi/nA^*)^{1/2}$	(5)**	Керемкулов В.А., Цукерман И. Г., 1984 [10]
	$Q_{max} = 0,0000055 (P_E)^{0,59}$	(6)***	Costa, J.E., and Schuster, R.L. 1988, [22]
	$Q_{max} = 46 (V/10^6)^{0,66}$	(7)	Walder and Costa, 1996 [29]
	$Q_{max} = aW^{1,25}H^{0,5}$	(8)****	Medey A. P. u др. [12]

где Q_{max} – максимальный прорывной расход, м³/с; V – объем озера, м³; α – эмпирический коэффициент, зависящий от длины туннеля, ϕ – угол наклона фронтального уступа морены, n – безразмерный коэффициент (1,25-1,35), A^* – удельное сопротивление (см²/м⁶), W – площадь живого сечения туннеля, м²; H – превышение над входом в туннель, м; ϕ – угол наклона фронтального уступа морены; n – безразмерный коэффициент (1,25-1,35).

Примечания:

* максимальный расход в начальный период истечения в туннель, для озер подпруженных ледником.

** здесь A^* – удельное сопротивление (см²/м⁶), которое, по утверждению авторов, «будет решено по мере накопления сведений о расходах прорывных паводков и морфометрических характеристиках каналов стока».

*** P_E – потенциальная энергия резервуара, определяемая как результат высоты дамбы озера (м), объема (м³) и удельного веса воды (9800 Н/м³).

**** Формула 8 уточняет формулу 3, путём ввода численного значения коэффициента ($\alpha=2,7$) для озер Иле Алатау.

Анализ предложенных расчетных моделей прорывов МЛО по ледовым туннелям показывает, что формулы (2), (4), (7) в явном виде включают максимальный объем озера, что обычно соответствует объему прорывного паводка. Формула 6 содержит тот же объем в скрытом виде, выраженный через потенциальную энергию объема воды. Формулы (3) и (8) являются модификацией для известных гидравлических соотношений между напором воды и площадью сечения напорного трубопровода.

Расчеты пиковых расходов для прорыва некоторых озер в Иле Алатау, выполненные по приведенным выше формулам (2) и (8), показали близкие результаты (Табл. 2).

Таблица 2. Результаты расчета пиковых расходов при наблюдаемых прорывах МЛО по туннелям в Иле Алатау

Расход наблюденный / расчётный	Объем прорывного паводка, тыс. м ³	Максимальная глубина над входом в туннель, м	Площадь живого сечения туннеля, м ²	Пиковый расход, м ³ /с
Озеро №7 (л. Спортивный, р. Ср. Талгар, 1979 г.)				
По следам паводка на снежнике ниже озера	82,0	13,3	1,5	≤ 15,0
$Q_{max} = 75 (V/10^6)^{0,67}$ (2)				14,70
$Q_{max} = aW^{1,25}H^{0,5}$ (8)				16,36
Озеро №16 (л. №25, р. Каскелен)				
Гидрограф, 1980	220,0	13,8	6,31	22,7

$Q_{max} = 75 (V/10^6)^{0,67} (2)$				27,2
Гидрограф, 1986	80,0	-	-	16,0
$Q_{max} = 75 (V/10^6)^{0,67} (2)$				13,8

Результат расчета показывает, что значения пиковых прорывных расходов, полученные по предложенным формулам, весьма близки и соответствуют наблюдаемым данным.

Показательно, что для прорывов озера №16 в верховьях р. Каскелен, при отсутствии данных по площади живого сечения ледового туннеля, пиковые расходы при прорывах 1980 и 1986 гг., определенные по гидрографам прорывов, оказались вполне соизмеримыми с расходами, рассчитанными по формуле (2).

Формула (5) включает безразмерный коэффициент n , а также A^* - удельное сопротивление грота, в свою очередь содержащие ряд неопределённостей вроде гидравлического сопротивления на участке, при котором потеря напора равна скоростному напору в выходном сечении, зависящая от площади поперечного сечения грота. Авторы [25], отмечают, что значение n «в дальнейшем может быть уточнено», например, путем «прослушивания морены сейсмическими индикаторами расхода». Удельное сопротивление «грота», под которым понимался ледовый туннель, также включает ряд неопределённостей.

Тем не менее, по предложенному методу были проведены расчеты максимальных расходов и реконструкция гидрографов прорывов озер, что позволило авторам заключить, что формы построенных гидрографов соответствуют их качественному описанию и, в основных чертах, реальному объекту, а «метод расчёта, разработанный для этих моделей, может применяться при решении практической задач».

В то же время, сравнение рассчитанного и наблюдаемого гидрографа прорыва для озера №16 показывает их существенное различие как по форме, объёму прорывного паводка, так и по времени истечения (Рис. 6).

Выявленные различия при том, что исходные данные для построения гидрографов, были одни и те же, свидетельствует о влиянии на расчет по предложенной модели указанных выше неопределённостей. На практике, применить предложенный метод представляется недостаточно оправданным, поскольку для МЛО, как правило, данные по площади живого сечения ледовых туннелей, гидравлическому сопротивлению отсутствуют.

Тем не менее, особенности прорыва озер по ледовым туннелям и форма гидрографа опорожнения (Рис. 6) показывает, что пик на начальном этапе объясняется напорным истечением из котловины. По свидетельству наблюдателя первый этап опорожнения сопровождался возникновением воронки над входным отверстием туннеля диаметром 6-8 м [44]. Пологая ветвь гидрографа указывает уже на безнапорное истечение по туннелю.

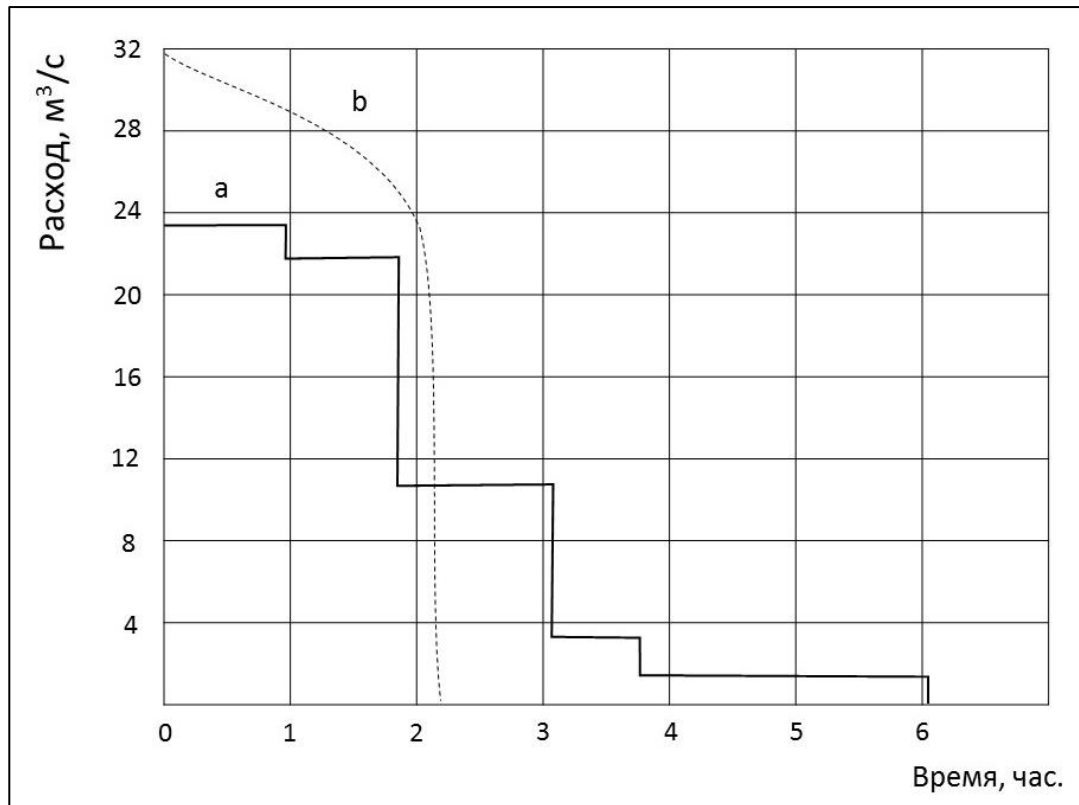


Рисунок 6. Гидрографы прорыва озера №16 в бассейне р. Каскелен (1980):
a – наблюдаемый, *b* – рассчитанный по модели [25]

Реализация рассматриваемого механизма возможна и за счет образования дренажного туннеля на месте заложения грота в массиве мертвого льда на месте его контакта с горизонтом воды и последующим разрушением утончающейся внешней стенки в нижнем бьефе. По такой схеме произошли прорывы озера №6 у л. ТЭУ-Северный в бассейне р. Ср. Талгар в 1974 г, а также крупного МЛО у л. Тушинского в Жетису Алатау в 1982 г. В этих случаях после прорыва происходило обрушение кровли ледового туннеля с образованием обширного открытого прорана с ледово-мёрзлыми бортами [1, 17, 18].

2.3. Прорывы МЛО по проранам в талых массивах

Прорывы МЛО по проранам в талых массивах современных морен наиболее опасны, поскольку приводят к образованию мощной прорывной паводковой волны с расходами, на порядок и более превышающими бытовой (обычный) сток.

Катастрофические прорывы приледниковых озер поверхностным путем за счет разрушения озерных плотин известны в различных горных районах Земли [4, 5, 19, 20-22, 24, 27, 30, 31]. Как правило, выявить действительные причины опорожнения постфактум затруднительно, поскольку прямые наблюдения отсутствуют, а сам процесс скоротечен и носит лавинообразный характер. В то же время внешний вид проранов, судя по фотографиям, размещенным в ряде работ, убедительно свидетельствует об отсутствии ледового ядра в плотинах на месте возникших проранов.

Прорывам могут предшествовать незначительные просадки, а возможно и сдвиг талого массива, что ведет к экспоненциальному росту живого сечения водного потока, интенсивной эрозии сливного русла. Пик прорывного паводка прохо-

дит в начальный период опорожнения озерной котловины, когда площади водного зеркала ещё остаются вблизи максимальных значений. Время истечения водной массы ограничено несколькими десятками минут. Процесс носит лавинообразный характер.

Селевая катастрофа на р. Киши Алматы 15 июля 1973 г., повлекшая значительный материальный ущерб и человеческие жертвы, была вызвана прорывом МЛО у л. Центральный Туйыксу, в результате которого через проран в озерной перемычке вниз по профилю устремилась мощная прорывная волна с пиковым расходом около 250-350 м³/с, что более чем на два порядка превышает бытовой поверхностный сток с ледника [2, 13].

Анализ построенных гидрографов прорыва показывает, что при общем сходстве их формы и времени процесса, значения расходов, особенно в первой фазе опорожнения озерной котловины, различаются существенно (Рис. 7). Разброс в значении максимального прорывного расхода, при том, что в основе его определения лежали одни и те же сведения о времени истечения водной массы и морфометрические характеристики озерной котловины, требует пояснения.

Большая величина расхода (350 м³/с) приведена в работах [2, 3] и в ее подтверждение указано, что произошло быстрое разрушение перемычки «с образованием прорана шириной 30 м в верхней части». Иначе было бы невозможно объяснить возможность формирования расхода с указанным пиковым значением, поскольку в меньшую площадь живого сечения потока на переливе из озера №2 вместить указанный расход просто невозможно. Также пришлось сократить общее время истечения на 3 минуты, для того чтобы существенно увеличить объём сброшенной воды на начальном этапе.

Однако исследователи упустили из внимания то, что ещё за несколько лет до прорыва, в перемычке озера, как раз на месте возникновения прорана, уже существовало глубокое, хорошо выраженное в рельефе русло, выработанное имевшим место поверхностным и фильтрационным стоком в направлении нижележащей небольшой котловины озера №3, на что, как на неоспоримый факт, указывает фотография в работе 1970 г. (Рис. 8а) [7].

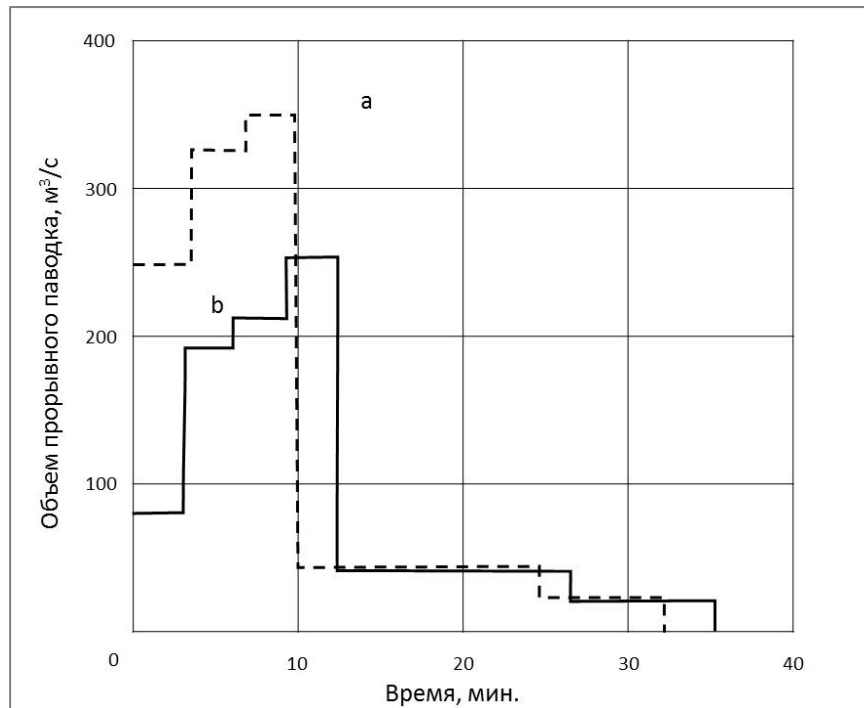


Рисунок 7. Гидрографы прорыва озера №2 у л. Ц. Туйыксу 15. 07. 1973 г.:
a – по Виноградову Ю. Б. и др. [2], *b* – по Плеханову П. А. и др. [13]



Рисунок 8. Прорывы МЛО по проранам в талых массивах:

A – Ситуация после прорыва озера №2 у л. Ц. Туйыксу (1973 г.) [2]. Во врезке участок места прорыва озёрной перемычки по состоянию до 1970 г. (вид с нижнего бьефа) [7], *B* – Озеро №13 у л. Советов после прорыва с прораном на гребне фронтальной морены (1977 г.).

Следовательно, проран, через который и была сброшена водная масса МЛО №2, образовался в наиболее ослабленном месте водоудерживающей перемычки на месте ранее существовавшего сливного русла и талого массива, обводнявшегося в течении нескольких лет до прорыва.

Аналогичный процесс вызвал катастрофический прорыв МЛО №13 у л. Советов в верховьях р. Кумбелсу. После прорыва стало очевидным, что стенки борта

прорана на глубину до 15 – 20 м сложены размороженным грунтом, сверху прикрытым полутораметровым слоем мёрзлых пород. Ледовое ядро в озерной плотине также отсутствовало (Рис. 8 В).

Для оценки величин максимальных расходов при прорывах МЛО по проранам предложено несколько методов, моделей, расчетных формул, приведенных ниже (Табл. 3).

Таблица 3. Эмпирические формулы расчета прорывов МЛО по проранам в талых массивах современных морен [65]

Тип озерной плотины	Расчетная формула	Ссылки
Моренный	$Q_{max} = 0,0048 V^{0,896}$	(9) Popov N. V., 1991 [28]
	$Q_{max} = 0,00013 (P_E)^{0,60}$	(10) Costa, J.E., and Schuster, R.L. 1988 [22]
При обрушении ледника в озеро	$Q_{max} = V/t_w$	(11) Haerberli W., 1983 [24]
	$Q_{max} = 1100(V/10^6)^{0,44}$	(12) Walder, J.S., and Costa, J.E. 1996 [29]
При обвале	$Q_{max} = 0,72V^{0,53}$	(13) Evans, 1986 [23]

где Q_{max} – максимальный расход, м³/с; V – объем озера, м³; P_E – потенциальная энергия резервуара, определяемая как результат высоты дамбы озера (м), объема (м³) и удельного веса воды (9800 Н/м³), t_w – константа со значением в интервале 1000-2000 с.

Формулы (9), (11), (12), (13) для определения максимальных расходов показывают их связи с объемами озер (прорывных паводков), полученных эмпирическим путем. Формула (10) включает объем водной массы озера опосредованно через потенциальную энергию водного объекта.

Ниже приведен график (Рис. 9), отражающий эти связи, рассчитанные как для случаев прорывов через проран в моренной перемычке, так и при разрушениях перемычек в результате возникновения волн от обрушения ледовых или обломочных масс в озера.

Следует отметить, что случаи прорыва МЛО при обрушении ледовых или обломочных масс, достаточно характерные для Кордильер (южноамериканские Анды), Каракорума-Гиндукуша-Гималаев, в Иле Алатау, да и в Казахстане в целом, не известны. Однако физика процессов поверхностного разрушения моренных плотин весьма схожа, как в случае возникновения волн при обрушении ледовых или обломочных масс в водоемы, так и в случае рассмотренных выше прорывов МЛО через прораны в талых массивах.

Связь между объемами прорвавшихся озер и пиковыми расходами, полученная для МЛО Иле Алатау (в данном случае Роров 1991) полностью подтверждает общую тенденцию, отраженную линией регрессии, что позволяет рекомендовать этот подход для расчета параметров прорывов МЛО.

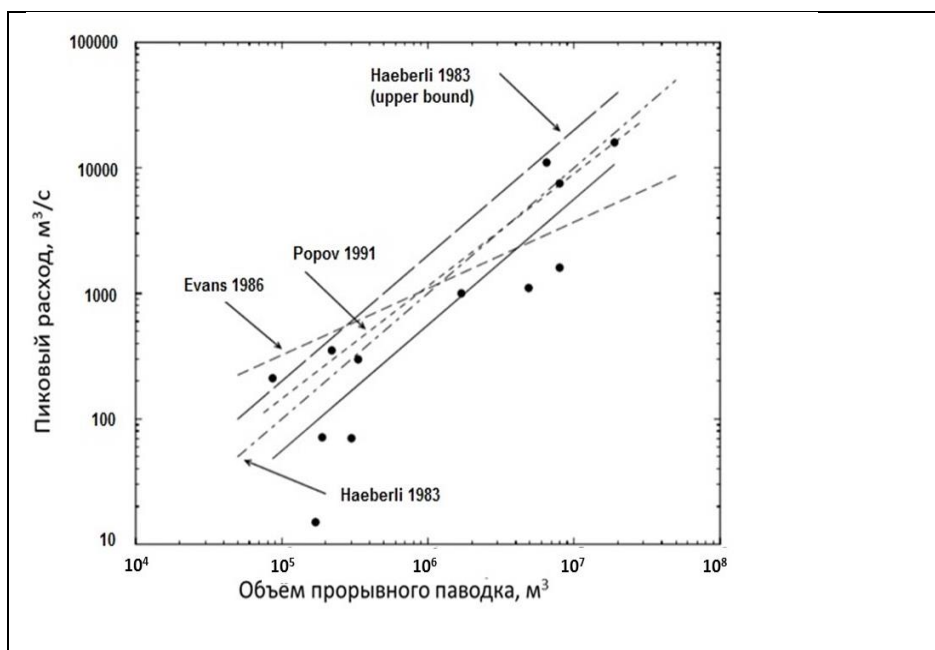


Рисунок 9. Связи между пиковыми расходами и объёмами прорвавшихся МЛО с моренными плотинами (линия регрессии - сплошная) [25].

3. Обоснование значений максимальных селевых расходов на выходе из селевых очагов (врезов) при прорывных паводках МЛО

Одним из наиболее важных вопросов при оценке возможных катастрофических последствий прорывов МЛО является обусловленность формирования максимальных расходов селевых потоков на выходе из очагов селеобразования пиковыми расходами прорывных паводков на входе в указанные очаги. Несмотря на очевидность такой обусловленности количественных оценок ранее подобных ситуаций не было сделано. Исследователей, прежде всего, интересовали максимальные расходы селевых потоков, которые в большинстве случаев отмечались на транзитных участках селевых русл рек, либо даже ближе к конусу выноса (Рис. 10).



Рисунок 10. Селевой поток 03.08.1977 г. на выходе из селевого очага [8]

Ситуация осложнялась также тем, что, как правило, возникновение селевого вреза или его значительное углубление, сопровождалось оползнями и обвалами рыхлообломочных переувлажненных грунтов по бортам врезов из-за резкого снижения уровня подруслового стока. Зачастую эти процессы могли продолжаться несколько дней. Например, максимальный расход самой крупной волны селя в 1977

г. на р. У. Алматы (до 11000 м³/с), отмечался утром 4 августа, т.е. на следующий день после прорыва озера №13, и был обусловлен вовлечением свежих селевых отложений, заполнивших долину реки на участке от Кумбельского селевого вреза до ГЭС-2 (Рис. 11).

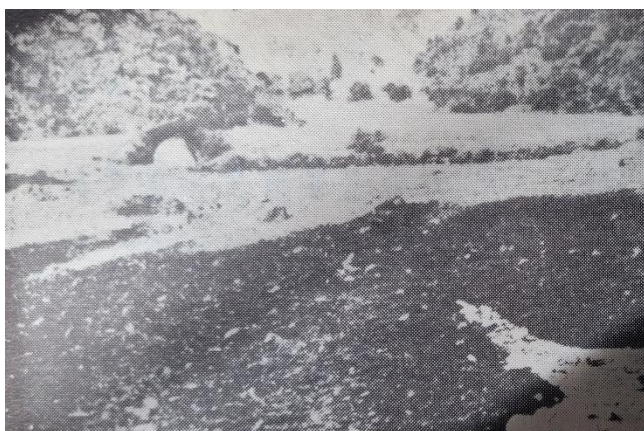


Рисунок 11. Селевой поток 03.08.1977 г. в долине р. У. Алматы [8]

Для адекватной оценки связи между прорывными расходами и сформированными ими селями были приняты в расчет только те случаи, когда были четко установлены параметры прорывных паводков, а максимальные селевые расходы измерялись инструментальным методом в створах непосредственно ниже селевых врезов. Данные по этим событиям в регионе Иле и Жетису Алатау приведены ниже (Табл. 4).

Характеристики прорывных гляциальных паводков, включенных в расчет, получены как по поданным прямым наблюдений за опорожнениями МЛО, гидрографам прорывов, так и по результатам специальных обследований, инструментальных съемок озерных котловин, подземных туннелей и проранов непосредственно после произошедших прорывов.

Максимальные расходы гляциальных селей на выходе из селевых очагов определялись по методу «скорость – площадь» по формуле В. В. Голубцова [33], полученной для условий Иле Алатау, которая имеет следующий вид:

$$v = 3,75 \cdot h_{cp}^{0,5} \cdot i^{0,17}, \quad (14)$$

где, v – скорость селевого потока, м²/с; h_{cp} – средняя глубина селевого потока, м; i – уклон, ‰.

По данным пиковых прорывных расходов и максимальных расходах гляциальных селей на выходе из селевых очагов установлена корреляционная связь, определяемая следующей формулой:

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (15)$$

где, коэффициент корреляции $Correl(X, Y)$ по массивам данных x (пиковые прорывные расходы) и y (максимальные селевые расходы на выходе из селевых очагов) составил 0,97 (Рис. 12). Уравнение регрессии описывается линейной функцией вида:

$$y = 18,51x + 92,832 \quad (16)$$

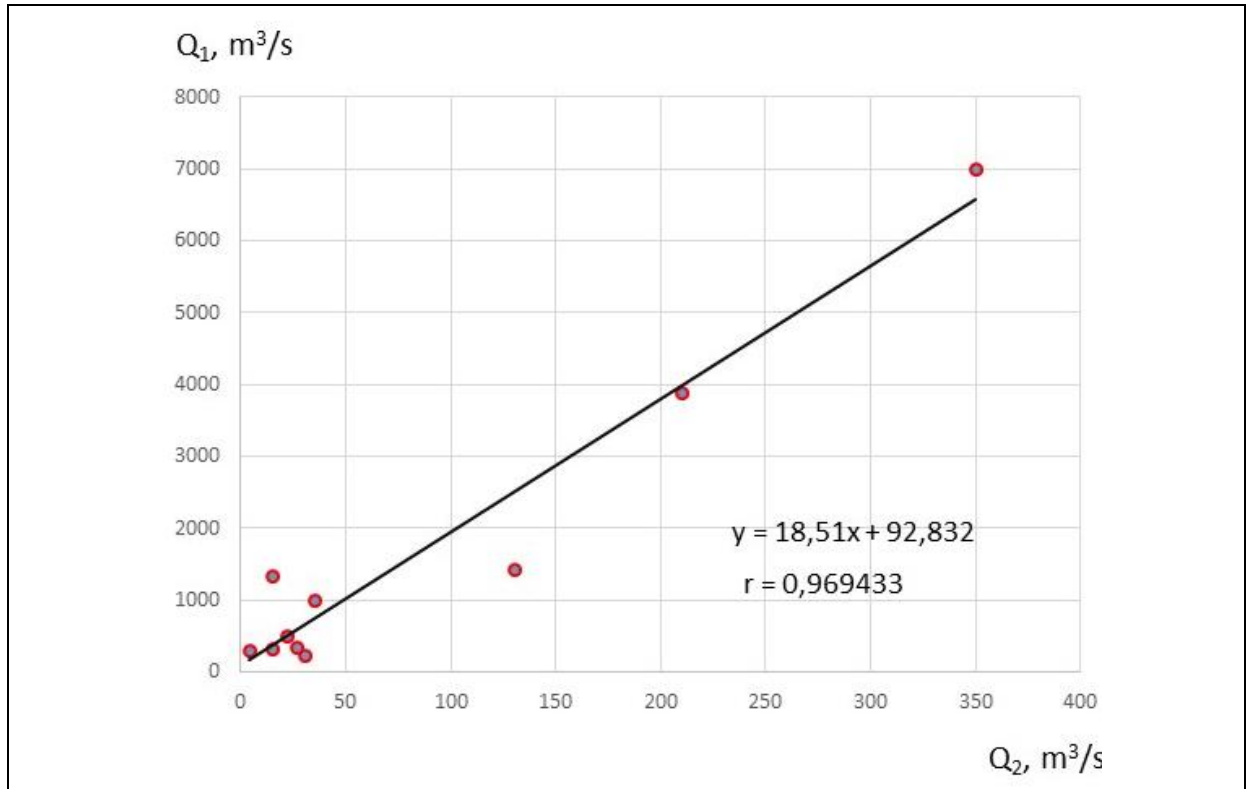


Рисунок 12. Корреляционная связь между пиковыми прорывными расходами и максимальными расходами гляциальных селей на выходе из селевых очагов

Таблица 4. Данные о прорывных паводках и максимальных селевых расходах в створах ниже селевых очагов (врезов)

Наименование реки	Дата и год селевого потока	Прорывной расход, м ³ /с	Максимальный расход селевого потока, м ³ /с	Источник
Киши Алматы	15.07.1973	350	10000 (принято 7000)	Виноградов Ю. Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. – Л., 1977, 156 с.
Средний Талгар	15.07.1974	30,0	250	Шушарин В. И., Марков И. Н. Наблюдения за формированием гляциальных селей в бассейне р. Средний Талгар. Сб.1 Селевые потоки, 1976, с. 98-107.
Средний Талгар	02.08.1974	4,2	300	Шушарин В. И., Марков И. Н. Наблюдения за формированием гляциальных селей в бассейне р. Средний Талгар. Сб.1 Селевые потоки, 1976, с. 98-107.
Чемолган	1975	26,0	360	Степанов Б. С., Яфязова Р. К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Том 3. Селевые процессы и селетехнические сооружения. Алматы, 2014, 434 с.
Улкен Алматы	03.08.1977	210	3900	Есенов У. Е., Деговец А. С. Селевые потоки 1977 г. на реке Большая Алматика и задачи защиты города Алма-Аты. Проблемы противоселевых мероприятий, «Казахстан», Алма-Ата, 1979, с. 213- 222.
Жарсай	03.07.1977	35,0	1000	Плеханов П.А., Судаков П.А., Токмагамбетов Г.А. Гляциальный селевой поток на р. Жарсай 3/УП 1977 г. с. 165-178.
Средний Талгар	21. 06. 1979	15,0	340	Шушарин В.И., Попов Н.В. Развитие селевого потока в бассейне реки Средний Талгар. Проблемы противоселевых мероприятий. - Алма-Ата, 1981, с. 153-157.
Каскелен	23.07.1980	22,0	510	Попов Н. В. О гляциальном селевом потоке 23 июля 1980 г. на р. Каскелен в Заилийском Алатау. – Сб. «Проблемы противоселевых мероприятий», «Казахстан», Алма-Ата, 1984, с. 222-230.
Саркан	08. 09. 1982	130	1425	Тихомиров Ю. П., Шевырталов Е. П. Некоторые характеристики гляциального селя, прошедшего в бассейне р. Сарканд. Селевые потоки, №9. М., Гидрометеоиздат, 1985, с. 132-138.
Средний Талгар	06. 07.1993	15,0	1340	Технический отчет за 1993 год (селевые работы), «Обследование следов селевого потока 6.07.1993 г. в басс. р. Талгар», Глав. Управление по гидрометеорологии при Кабинете Министров Республики Казахстан, комплексная гидрологическая экспедиция, Алматы, 1994, с.4-69.

4. Сценарии прорывов МЛО для верховий р. Кумбелсу

Исходя из теоретического и методического обоснования расчетов пиковых (максимальных) расходов при различных механизмах прорывов МЛО можно рассчитать различные сценарии прорывов озер для конкретного района верховий р. Кумбелсу.

За прошедший период после 1977 года ледники в районе активно сокращались. Ледник Советов разделился на несколько ледовых потоков, у правой ветви которого на высоте 3420 м абс. появилось активно развивающееся озеро, получившее наименование №13-бис. Выше по профилю морены появились также озера №№ 14, 15 и 16 (Рис. 13).

При оценке прорывоопасности существующих МЛО решающим фактором выступает объем водной массы, содержащийся в озерных котловинах. Ниже приведены основные морфометрические характеристики МЛО, расположенных в пределах современных морено-ледниковых комплексов (Табл. 5).

Таблица 5. Площади и объемы МЛО в бассейне р. Кумбелсу

Номер озера	Год измерения	Площадь, м ²	Объем, м ³
№13	2011	5100	5650
№ 13-бис	2022	57570	154500
№14*	1975	2000	4000
№15	2017	7900	22000
№16	2011	2000	2900

Примечание:*Озеро прорывалось в 1975 г. сейчас котловина пустует.

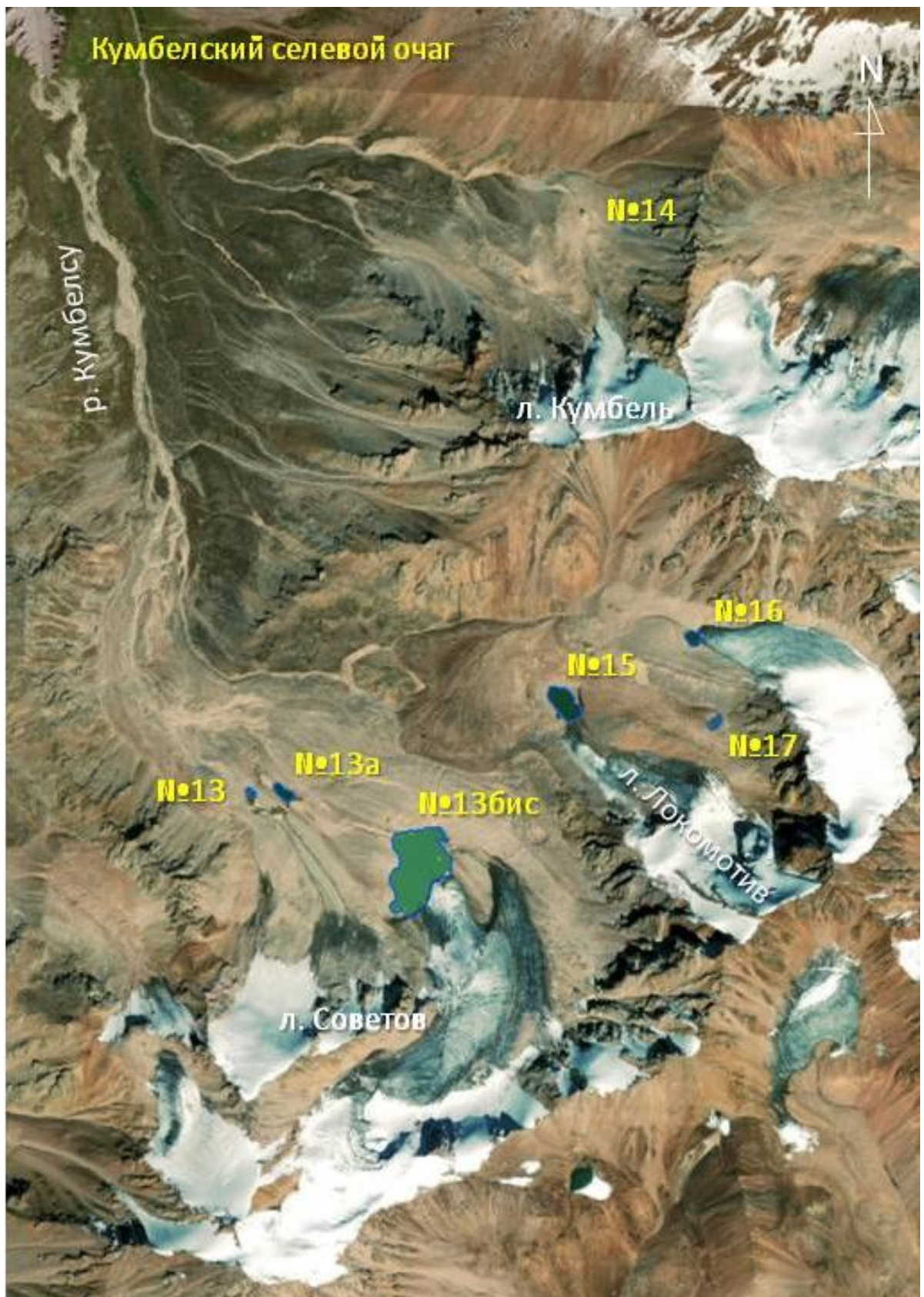


Рисунок 13. Современное состояние МЛО в верховьях р. Кумбелсу.

Следует отметить, что озеро №13, прорвалось в 1977 г. в результате чего перемычка была полностью разрушена, и сейчас представляет собой временно заполняющийся водоем незначительного объема. МЛО №15 по приведенной выше схеме, в силу также незначительного объема и массивной озерной плотины может представлять опасность в дальнейшем, при условии развития его озерной котловины. В настоящее же время возможность его катастрофического опорожнения отсутствует.

Исходя из этого, рассмотрим сценарии возможного прорыва только МЛО №15 и №13-бис с возможным образованием гляциальных селей.

4.1. Сценарии возможного прорыва озера №15

4.1.1. Прорыв озера №15 по открытому ледовому каналу

Расчет пикового (максимального) расхода с предложенным механизмом опорожнения озера №14 производится по формуле (1), приведенной в разделе 2.1 настоящего отчета. В этом случае при площади водной поверхности 7900 м² и интенсивности протаивания открытого ледового канала 0,612 м/час максимальный расход при опорожении озерной котловины составит:

$$Q_{\max} = \lambda F = 0,00017 \text{ м/с} \cdot 7900 \text{ м}^2 = 1,34 \text{ м}^3/\text{с}$$

где Q_{\max} – максимальный расход воды, м³/с; λ – интенсивность протаивания канала, м/с; F – максимальная площадь водного зеркала, м².

4.1.2. Прорыв озера №15 подземным путем по ледовому туннелю

Для случая механизма прорыва озера по ледовому туннелю расчёт выполнен по формуле (2) из раздела 2.2 настоящего отчета.

$$Q_{\max} = 75 (V/10^6)^{0,67} = 75 \cdot (22000/10^6)^{0,67} = 5,81 \text{ м}^3/\text{с}$$

где Q_{\max} – максимальный расход воды, м³/с; V – объем озера, м³.

4.1.3. Прорыв озера №15 по прорану в талом массиве

При реализации механизма прорыва озера поверхностным путем по прорану в талом массиве расчёт производится по формуле (9) из раздела 2.3 настоящего отчета.

$$Q_{\max} = 0,0048 V^{0,896} = 0,0048 \cdot 22000^{0,896} = 37,33 \text{ м}^3/\text{с}$$

где Q_{\max} – максимальный расход воды, м³/с; V – объем озера, м³.

Исходя из предложенных сценариев, опасность прорыва озера №15 может возникнуть только в случае опорожнения озерной котловины подземным путем по ледовому туннелю, либо поверхностным путем - по прорану в талом массиве. В обоих случаях в Кумбелский селевой очаг поступят расходы воды, многократно превышающие обычный бытовой сток, составляющий обычно около 1 м³/с, что послужит началом процесса селеобразования. Однако вследствие относительно незначительного объема прорывного паводка ожидать на выходе из селевого очага катастрофического селевого потока не приходится.

Исходя из полученной корреляционной связи (формула 15, рис. 12), между расходами прорывных паводков и селевыми расходами, на выходе из Кумбелского селевого очага максимальные расходы селевых потоков могут составить:

по сценарию 4.1.2 – 110 м³/с;

по сценарию 4.1.3 – 706 м³/с.

Объем селевой массы, ориентировочно до 300 тыс. м³ по сценарию 4.1.3, отложится по долине реки У. Алматы на участке ещё до основной плотины-селеуловителя.

4.2. Сценарии возможного прорыва озера №13-бис

В силу характера развития и своих размеров озеро №13-бис представляет наибольшую угрозу и его прорыв способен сформировать катастрофический гляциальный сель в долине р. У. Алматы (Рис. 11).

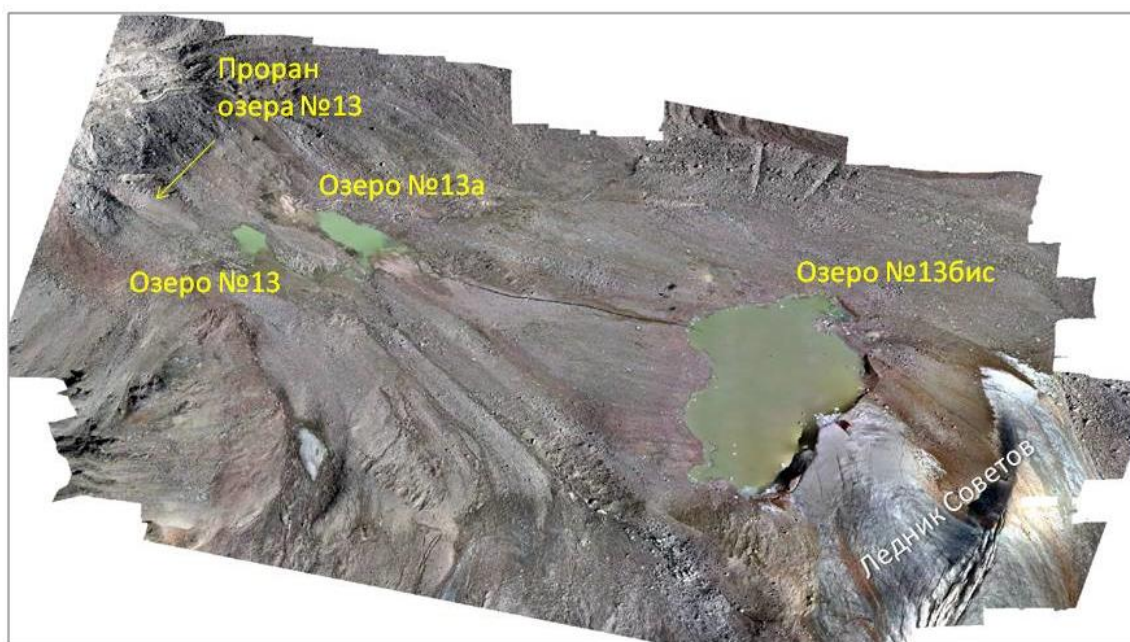


Рисунок 11. Обстановка в районе МЛО №13-бис.

4.2.1 Прорыв озера №13-бис по открытому ледовому каналу

Расчет пикового (максимального) расхода с предложенным механизмом опорожнения озера №13-бис производится по формуле (1), приведенной в разделе 2.1 настоящего отчета. В этом случае при площади водной поверхности 37200 м² и интенсивности протаивания открытого ледового канала 0,612 м/час максимальный расход при опорожнении озерной котловины составит:

$$Q_{\max} = \lambda \cdot F = 0,00017 \text{ м/с} \cdot 57570 \text{ м}^2 = 9,79 \text{ м}^3/\text{с}$$

где Q_{\max} – максимальный расход воды, м³/с; λ – интенсивность протаивания канала, м/с; F – максимальная площадь водного зеркала, м².

4.2.2 Прорыв озера №13-бис подземным путем по ледовому туннелю

Для случая механизма прорыва озера по ледовому туннелю расчёт выполнен по формуле (2) из раздела 2.2 настоящего отчета.

$$Q_{\max} = 75 (V/10^6)^{0,67} = 75 \cdot (154500/10^6)^{0,67} = 21,46 \text{ м}^3/\text{с}$$

где Q_{\max} – максимальный расход воды, м³/с; V – объем озера, м³.

4.2.3 Прорыв озера №13-бис по прорану в талом массиве

При реализации механизма прорыва озера поверхностным путем по прорану в талом массиве расчёт производится по формуле (9) из раздела 2.3 настоящего отчета.

$$Q_{\max} = 0,0048 V^{0,896} = 0,0048 \cdot 154500^{0,896} = 214,0 \text{ м}^3/\text{с}$$

где Q_{\max} – максимальный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; V – объем озера, м^3 .

Исходя из предложенных сценариев, опасность прорыва озера №13-бис может возникнуть в случае опорожнения озерной котловины даже по относительно безопасному механизму истечения по открытому ледовому каналу. При поступлении в Кумбелский селевой очаг прорывного паводка по сценарию 4.2.1 с максимальным расчетным расходом ($9,79 \text{ м}^3/\text{с}$), что почти на порядок превышает бытовой расход реки, на выходе из селевого очага образуется локальный селевой поток с расходами порядка до **185** $\text{м}^3/\text{с}$.

При прорыве озера №13-бис по сценарию 4.2.2 по ледовому туннелю (пусковой расход $21,46 \text{ м}^3/\text{с}$) может сформироваться сель средней мощности до **407** $\text{м}^3/\text{с}$.

В случае прорыва озера №13-бис по сценарию 4.2.3 (по прорану в талом массиве) сложатся наихудшие условия: в Кумбелский селевой очаг поступит огромный прорывной паводок, расход которого на два порядка превышает обычный (бытовой) сток ($214,0 \text{ м}^3/\text{с}$). Вследствие мощного, значительного по объему и продолжительности истечения прорывного паводка, на выходе из Кумбельского селевого очага сформируется катастрофический гляциальный сель с максимальным расходом до **3961** $\text{м}^3/\text{с}$.

По аналогии с прошедшим ранее селом 1977 г., объем катастрофического гляциального селя может составить порядка 2,0-2,5 млн. м^3 , что угрожает всем объектам, расположенным в селеопасной зоне. Объем селевой массы отложится в долине реки и в селехранилище основной плотины-селеуловителя на р. У. Алматы.

5. Интерактивная карта селевого риска

Трехмерное моделирование бассейна р. Улкен Алматы в программном продукте RAMMS с использованием высокоточной глобальной цифровой модели рельефа (ЦМР) компании Airbus с разрешением 24 м позволило выявить пути движения и границы распространения селей. Данные моделирования были сопоставлены с данными многолетних наблюдений за селями, проводимых Казгидрометом, Казселезащитой и Институтом географии, а также по следам прохождения селей и распространения селевых отложений.

В зонах распространения частых селей селевые отложения свободны от растительности, на валунах нет лишайников. На участках, где сели бывают редко, на селевых отложениях наблюдается разреженный травяной покров и молодой лиственный лес. На валунах имеются разреженные лишайники. На участках, где сели бывают очень редко, наблюдается сплошной травяной покров с дерном, взрослый еловый и лиственный лес. На валунах – сплошной покров лишайников.

Выявление объектов, подверженных воздействию селей, осуществлялось путем наземного обследования. Для каждого объекта определялись географические координаты, назначение объекта, оценивалась мощность селя, который может воздействовать на объект, рассчитывалось расстояние объекта от ледникового озера и время добега селя при прорыве ледникового озера. По итогам об-

следований составлен перечень объектов, подверженных воздействию селей, и интерактивная инвентаризационная карта на основе ГИС-технологий с использованием космического снимка высокого разрешения и компьютерной программы ArcGis. Предложены рекомендации по защите объектов и очередности переноса из селеопасной зоны в случае необходимости.

По назначению все объекты разделялись на социальные, производственные, инфраструктурные, защитные, экологические. К социальным объектам относились жилые дома, гостиницы, магазины, рестораны и кафе, площадки и зоны для отдыха. К производственным объектам относились производственные помещения, гидротехнические сооружения, пункты мониторинга окружающей среды. Объектами инфраструктуры являются дороги, мосты, ЛЭП, газопроводы, водопроводы. Защитные сооружения представлены селезадерживающими, селенаправляющими и селепропускными сооружениями.

На территорию бассейна реки Улкен Алматы создана база данных, которая содержит информацию по 48 объектам, находящимся в зоне селевого риска. База данных создана в программе ArcGis в проекции GCS_WGS_1984. Каждый объект имеет X,Y,Z – координаты, помимо этого в базу внесена информация об отдаленности объекта от источника селевого риска (Рис. 13). На каждый объект в базе прикреплена фотография для наглядности.

По этим данным построена интерактивная карта селевого риска с объектами, подверженными воздействию селей (Рис. 12). На рисунке 14 показана батиметрия съёмка озера №13бис за 15.08.2022г. Изобаты наложены на ортофотоплан, созданный в результате обработки данных съёмки БПЛА.

В таблице 6 приведена база данных о селеопасных объектах.

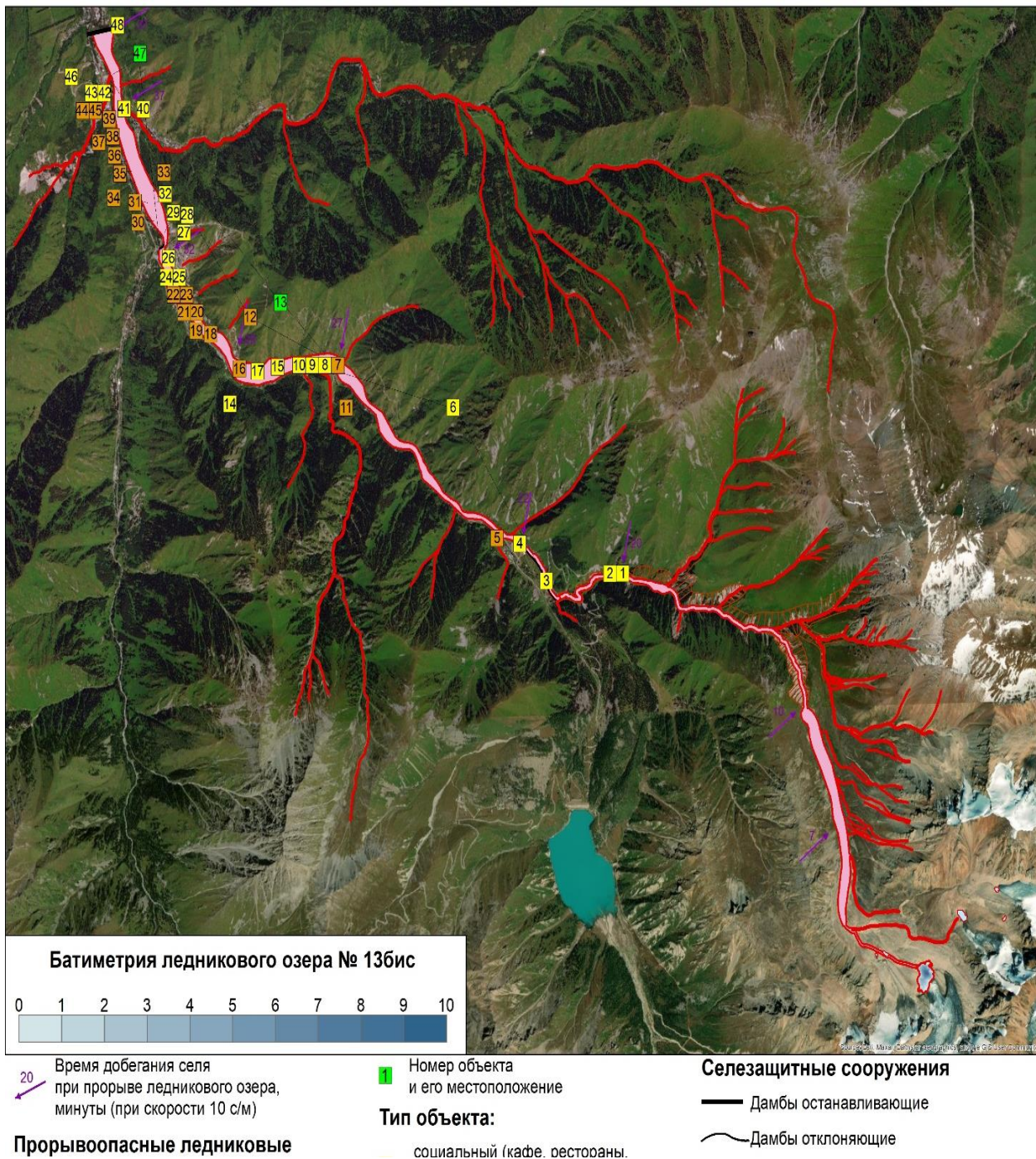


Рисунок 12. Карта селевого риска бассейна р. Улкен Алматы

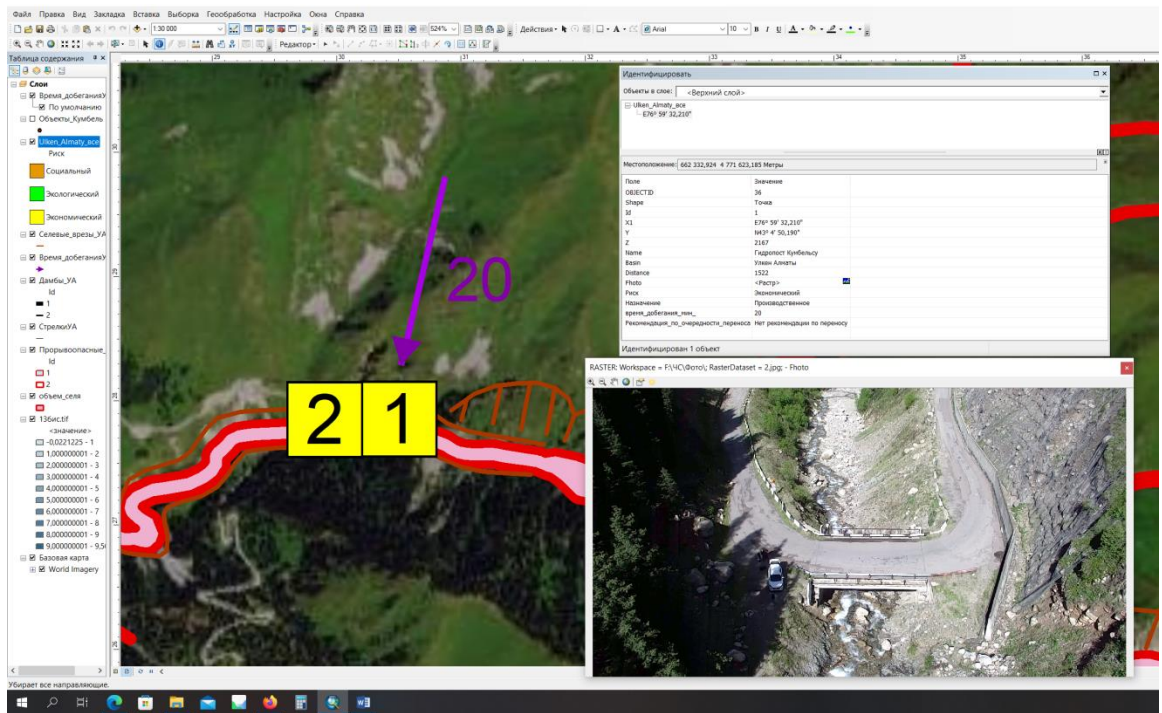


Рисунок 13. Пример записи данных о селеопасном объекте в базе ГИС.

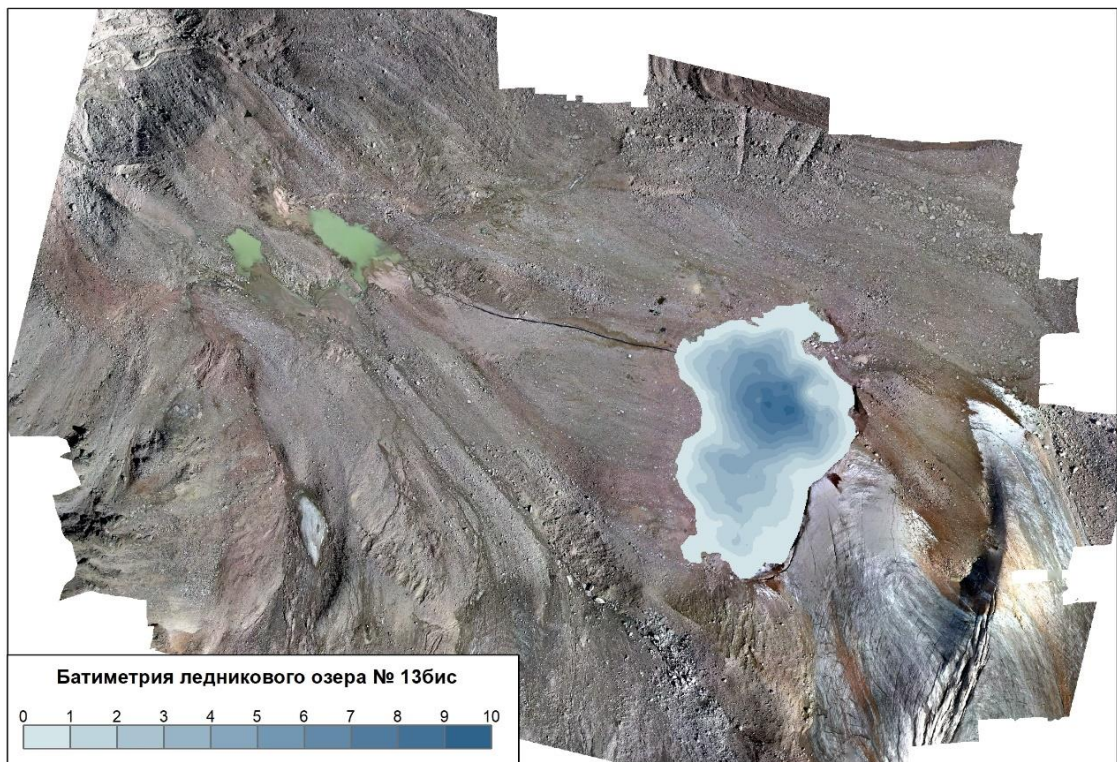


Рисунок 14. Батиметрия озера №13 бис (состояние на 15.08.2022г.)

Таблица 6. Перечень селеопасных объектов в долине р. Улкен Алматы

№	Наименование объектов	Расположение объектов	Высота (м абс.), координаты	Назначение объектов	Расстояние от ледникового озера	Время добегания селя при прорыве ледникового озера, (минуты)
1	Гидропост	Русло р. Кумбелсу	Н 2189 м Х 76°59'34" У 43°04'50"	Производственное	7090	20
2	Мост ж/б через р. Кумбелсу	Русло р. Кумбелсу	Н 2187 м Х 76°59'34" У 43°04'50"	Инфраструктура	7090	20
3	Селезащитная дамба ГЭС1 ж/б	Русло р. Улкен Алматы	Н 1975 м Х 76°58'45" У 43°04'52"	Селезащитное	8200	22
4	Мост ж/б через р. Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	Н 1932 м Х 76°58'33" У 43°05'02"	Инфраструктура	9000	22
5	Частный дом	Левый берег р. Улкен Алматы	Н 1904 м Х 76°58'19" У 43°05'04"	Социальное	9350	23
6	Дорога асфальтированная Алматы – Большое Алматинское озеро	Вдоль русла р. Улкен Алматы Длина 3,2 км	Н1662-1904 м Х 76°56'42" - 76°58'19" У 43°06'04" - 43°05'04"	Инфраструктура	9000	22
7	База отдыха «Аюсай» с юртами, кафе, аттракционами, а/стоянкой	Конус выноса р. Аюсай	Н 1654 м Х 76°56'40" У 43°06'07"	Социальное	12500	27
8	Опора ЛЭП 350 металлическая	Правый берег р. Аюсай	Н 1668 м Х 76°56'35" У 43°06'04"	Инфраструктура	12500	27
9	Опора ЛЭП 350 металлическая	Левый берег р. Аюсай	Н 1638 м Х 76°56'25" У 43°06'05"	Инфраструктура	12500	27
10	Мост ж/б через р. Аюсай	Русло р. Аюсай	Н 1631 м Х 76°56'25" У 43°06'07"	Инфраструктура	12500	27
11	Зона отдыха вдоль русла р. Аюсай	Вдоль русла р. Аюсай. Длина 700м	Н 1611-1720 м Х 76°56'18"- 76°56'39"	Социальное	12500	27

			Y 43°06'07" 43°05'54"			
12	Зона отдыха вдоль русла реки Улкен Алматы с молодым лиственным лесом	Вдоль русла р. Улкен Алматы. Длина 4,5 км Ширина 50-150 м	Н 1425-1660 м X 76°54'52" - 76°56'39" Y 43°06'51" - 43°06'11"	Социальное	13900	29
13	Молодой лиственный лес	Пойма и террасы вдоль русла р. Улкен Алматы. Длина 4,5 км Ширина 50-150 м	Н 1425-1660 м X 76°54'52" - 76°56'39" Y 43°06'51" - 43°06'11"	Социальное	13900	29
14	Дорога асфальтированная Алматы-Большое Алматинское озеро	Вдоль русла р. Улкен Алматы. Длина 1,3 км	Н 1510-1594-м X 76°55'19" - 76°56'08" Y 43°06'18" - 43°06'068"	Инфраструктура	13900	29
15	Мост ж/б через р. Улкен Алматы к коттеджам на правом берегу	Русло р. Улкен Алматы	Н 1537 м X 76°55'37" Y 43°06'08"	Инфраструктура	13900	29
16	Кафе «Apple Tau»	Правый берег р. Улкен Алматы	Н 1539 м X 76°55'37" Y 43°06'10"	Социальное	13900	29
17	Опора ЛЭП 35 деревянная	Левый берег р. Алматы	Н 1537 м X 76°55'37" Y 43°06'08"	Инфраструктура	13900	29
18	Кафе «Каусан Булак» с юртами и аттракционами	Левый берег р. Алматы	Н 1512 м X 76°55'22" Y 43°06'18"	Социальное	14500	30
19	Частные дома	Терраса на правом берегу р. Улкен Алматы	Н 1491 м X 76°55'12" Y 43°06'22"	Жилой дом	14990	30
20	Служебный дом Казгидромета	Терраса на левом берегу р. Улкен Алматы	Н 1484 м X 76°55'08" Y 43°06'25"	Жилой дом	14990	
21	Кафе «Молодежный»	Терраса на левом берегу р. Улкен Алматы	Н 1508 м X 76°55'09" Y 43°06'20"	Социальное	14990	

22	Кафе «Ак Орда»	Низкая терраса на левом берегу р. Улкен Алматы	Н 1471 м X 76°55'02" Y 43°06'30"	Социальное	14990	
23	Площадки для отдыха	Левый берег р. Улкен Алматы	Н 1474 м X 76°55'06" Y 43°06'27"	Социальное	15160	31
24	Вертолетная площадка	Левый берег р. Улкен Алматы	Н 1454 м X 76°54'59" Y 43°06'35"	Инфраструктура	15160	32
25	Мост ж/б через р. Улкен Алматы к поселку Кокшека	Русло р. Улкен Алматы	Н 1445 м X 76°54'58" Y 43°06'39"	Инфраструктура	15600	32
26	Мост ж/б через р. Улкен Алматы к поселку Кокшека	Русло р. Улкен Алматы	Н 1428 м X 76°54'53" Y 43°06'49"	Инфраструктура	15600	32
27	Селезащитная дамба ГЭС2 ж/б	Русло р. Улкен Алматы	Н 1424 м X 76°54'53" Y 43°06'52"	Селезащитное сооружение	15600	32
28	Гидротехнические сооружения	Русло р. Улкен Алматы	Н 1418 м X 76°54'55" Y 43°06'55"	Производственное	15900	34
29	Переход водопровода через р. Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	Н 1418 м X 76°54'55" Y 43°06'55"	Инфраструктура	16066	34
30	Парк развлечений «Парк юрского периода»	Левый берег р. Улкен Алматы	Н 1403 м X 76°54'52" Y 43°06'60"	Социальное	16066	34
31	Гостиничный, ресторанный и оздоровительный комплекс «Тау Дастархан» и «Тау Спа»	Левый берег р. Улкен Алматы	Н 1392 м X 76°54'48" Y 43°07'06"	Социальное	16270	35
32	3 металлических пешеходных мостика через р. Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	Н 1400 м X 76°54'53" Y 43°07'04"	Социальное	16420	35
33	Площадка для отдыха с юртами и беседками	Левый берег р. Улкен Алматы	Н 1406 м X 76°54'54" Y 43°07'05"	Социальное	16420	35

34	Кафе «Холам» с беседками и павильонами	Левый берег р Улкен Алматы	Н 1370 м X 76°54'39" Y 43°07'15"	Социальное	16420	35
35	Кафе «Орлиный приют» с беседками и павильонами	Левый берег р Улкен Алматы	Н 1360 м X 76°54'39" Y 43°07'21"	Социальное	16648	35
36	Кафе «Жетысу» с беседками и павильонами	Левый берег р Улкен Алматы	Н 1355 м X 76°54'37" Y 43°07'23"	Социальное	16813	35
37	Кафе «У Исабая» с беседками и павильонами	Левый берег р Улкен Алматы	Н 1353 м X 76°54'36" Y 43°07'23"	Социальное	17016	35
38	Горный парк «Сарбаз»	Левый берег р Улкен Алматы	Н 1340 м X 76°54'30" Y 43°07'30"	Социальное	17077	36
39	Ресторанно-гостиничный комплекс «Сарбаз»	Левый берег р Улкен Алматы	Н 1334 м X 76°54'30" Y 43°07'34"	Социальное	17144	37
40	Мост ж/б через р. Улкен Алматы на дороге в Казачку	Русло р. Улкен Алматы	Н 1319 м X 76°54'30" Y 43°07'42"	Инфраструктура	17343	37
41	Мост ж/б через р. Кокшека на дороге Алматы –БАО	Русло р. Кокшека	Н 1309 м X 76°54'22" Y 43°07'49"	Инфраструктура	17343	37
42	Переход газопровода через р. Кокшека	Русло р. Кокшека	Н 1309 м X 76°54'22" Y 43°07'49"	Инфраструктура	17343	37
43	ЛЭП 35 на ж/б опорах	Русло р. Кокшека	Н 1309 м X 76°54'22" Y 43°07'49"	Инфраструктура	17423	37
44	Магазин «Алма Арасан»	Правый берег р. Кокшека	Н 1310 м X 76°54'22" Y 43°07'48"	Социальное	17423	37
45	Кафе «Коктобе»	Левый берег р. Кокшека	Н 1315 м X 76°54'20" Y 43°07'48"	Социальное	17423	37
46	Опора ЛЭП 350 металлическая	Левый берег р. Кокшека	Н 1311 м X 76°54'20" Y 43°07'49"	Инфраструктура	17848	37
47	Взрослый лиственный лес (карагач, тополь)	Пойма р. Улкен Алматы. Длина Ширина	Н 1390-1419 м X 76°54'24"- 76°54'54"	Экологическое	16200	35

			У 43°07'55"- 43°06'54"			
48	Селезащитная плотина Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	Н 1382 м Х 76°54'17" У 43°08'11"	Селезащитное сооружение	18272	37

**Предложения (планы практических мероприятий)
по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций от высокогорных прорывоопасных озер и реки Улкен Алматы**

Как показано выше, долина р. Улкен Алматы является очень селеопасной. Крупные катастрофические сели проходили здесь в 1950, 1977, 1988, 2006 годах. Средние сели в верховьях долины сходят с периодичностью примерно 1 раз в 10 лет. Основным источником формирования селей является Кумбелский врез. Причиной образования селей являются ливни и прорывы ледниковых озер.

Город Алматы надежно защищен плотиной, стоящей в устье долины. Но выше плотины имеется множество объектов, подверженных воздействию селей. Больше всего их сосредоточено на участке от плотины до ГЭС2. Самыми важными из них являются: гостиничный комплекс «Сарбаз», кафе «У Исабая», «Жетысу», «Орлиный приют», «Холам», «Тау Дастархан», «Ак Орда», «Каусан Булак». Для их защиты планируется построить еще одну селезадерживающую плотину в районе Аюся.

Необходимо установить систему раннего оповещения с датчиком схода селя в устье Кумбеля и проводить эвакуацию посетителей при возникновении селевой опасности. Кроме этих объектов вся долина от ГЭС2 до ГЭС1 представляет собой сплошную зону отдыха, которая останется в селеопасной зоне, поэтому установка системы раннего оповещения в долине Улкен Алматы является задачей первоочередной важности. Практические предложения по конкретным объектам приведены в таблице 6.

Таблица 7. Практические мероприятия по снижению селевого риска

№	Наименование объекта	Расположение	Предложения по снижению селевого риска
1	Гидропост	Русло р. Кумбелсу	нет
2	Мост ж/б через р. Кумбелсу	Русло р. Кумбелсу	нет
			нет
3	Селезащитная дамба ГЭС1 ж/б	Русло р. Улкен Алматы	нет
			нет
4	Мост ж/б через р. Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	нет
5	Частный дом	Левый берег р. Улкен Алматы	Эвакуация отдыхающих при возникновении селевой опасности

6	Дорога асфальтированная Алматы –Большое Алматинское озеро	Вдоль русла р. Улкен Алматы Длина 3,2 км	нет
7	База отдыха «Аюсай» с юртами, кафе, аттракционами, автостоянкой	Конус выноса р. Аюсай	Необходима система раннего предупреждения о селевой опасности. Эвакуация отдыхающих при возникновении селевой опасности
8	Опора ЛЭП 350 металлическая	Правый берег р. Аюсай	Необходима защита
9	Опора ЛЭП 350 металлическая	Левый берег р. Аюсай	Необходима защита
10	Мост ж/б через р. Аюсай	Русло р. Аюсай	нет
11	Зона отдыха вдоль русла р. Аюсай	Вдоль русла р. Аюсай. Длина 700м	Необходима система раннего предупреждения о селевой опасности. Эвакуация отдыхающих при возникновении селевой опасности
12	Зона отдыха вдоль русла реки Улкен Алматы с молодым лиственным лесом	Вдоль русла р. Улкен Алматы. Длина 4,5 км Ширина 50-150 м	Необходима система раннего предупреждения о селевой опасности. Эвакуация отдыхающих при возникновении селевой опасности
13	Молодой лиственный лес	Пойма и террасы вдоль русла р. Улкен Алматы. Длина 4,5 км Ширина 50-150 м	нет
14	Дорога асфальтированная Алматы-Большое Алматинское озеро	Вдоль русла р. Улкен Алматы. Длина 1,3 км	нет
15	Мост ж/б через р. Улкен Алматы к коттеджам на правом берегу	Русло р. Улкен Алматы	нет
16	Кафе «Apple Tau»	Правый берег р. Улкен Алматы	Требуется защита. Эвакуация посетителей при возникновении селевой опасности.
17	Опора ЛЭП 35 деревянная	Левый берег р. Алматы	нет

18	Кафе «Каусан Булак» с юртами и аттракционами	Левый берег р. Алматы	Необходима система раннего предупреждения о селевой опасности. Эвакуация посетителей при возникновении селевой опасности
19	Частные дома	Терраса на правом берегу р. Улкен Алматы	Необходима система раннего предупреждения о селевой опасности. Эвакуация посетителей при возникновении селевой опасности
20	Служебный дом Казгидромета	Терраса на левом берегу р. Улкен Алматы	
21	Кафе «Молодежный»	Терраса на левом берегу р. Улкен Алматы	
22	Кафе «Ак Орда»	Низкая терраса на левом берегу р. Улкен Алматы	
23	Площадки для отдыха	Левый берег р. Улкен Алматы	
24	Вертолетная площадка	Левый берег р. Улкен Алматы	нет
25	Мост ж/б через р. Улкен Алматы к поселку Кокшека	Русло р. Улкен Алматы	нет
26	Мост ж/б через р. Улкен Алматы к поселку Кокшека	Русло р. Улкен Алматы	нет
27	Селезащитная дамба ГЭС2 ж/б	Русло р. Улкен Алматы	нет
28	Гидротехнические сооружения	Русло р. Улкен Алматы	нет
29	Переход водопровода через р. Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	нет
30	Парк развлечений «Парк юрского периода»	Левый берег р. Улкен Алматы	Требуется защита, раннее оповещение, эвакуация посетителей при возникновении селевой опасности
31	Гостиничный, ресторанный и оздоровительный комплекс «Тау Дастархан» и «Тау Спа»	Левый берег р. Улкен Алматы	
32	3 металлических пешеходных мостика через р. Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	Требуется защита, раннее оповещение, эвакуация посетителей при возникновении селевой опасности
33	Площадка для отдыха с юртами и беседками	Левый берег р. Улкен Алматы	
34	Кафе «Холам» с беседками и павильонами	Левый берег р. Улкен Алматы	

35	Кафе «Орлиный приют» с беседками и павильонами	Левый берег р Улкен Алматы	Требуется защита, раннее оповещение, эвакуация посетителей при возникновении селевой опасности
36	Кафе «Жетысу» с беседками и павильонами	Левый берег р Улкен Алматы	
37	Кафе «У Исабая» с беседками и павильонами	Левый берег р Улкен Алматы	
38	Горный парк «Сарбаз»	Левый берег р Улкен Алматы	
39	Ресторанно-гостиничный комплекс «Сарбаз»	Левый берег р Улкен Алматы	
40	Мост ж/б через р. Улкен Алматы на дороге в Казачку	Русло р. Улкен Алматы	нет
41	Мост ж/б через р. Кокшека на дороге Алматы-Большое Алма-тинское озеро	Русло р. Кокшека	нет
42	Переход газопровода через р. Кокшека	Русло р. Кокшека	нет
43	ЛЭП 35 на ж/б опорах	Русло р. Кокшека	нет
44	Магазин «Алма Ара-сан»	Правый берег р. Кокшека	Требуется защита, Раннее оповещение, Эвакуация посетителей при возникновении селевой опасности
45	Кафе «Коктобе»	Левый берег р. Кокшека	
46	Опора ЛЭП 350 металличе-ская	Левый берег р. Кокшека	нет
47	Взрослый лиственный лес (карагач, тополь)	Пойма р. Улкен Алматы. Длина Ширина	нет
48	Селезащитная плотина Улкен Алматы	Русло р. Улкен Алматы	нет

Использованная литература по разделу

1. Бижанов Н. К., Виноходов В. Н., Кулмаханов Ш. К., Нурланов М. Т., Попов Н. В. *Безопасность и контроль гляциальных селей в Казахстане.* - Алматы, Ғылым, 1998, 102 с.
2. Виноградов Ю. Б., Земс А. Э., Хонин Р. В. *Селевой поток 15 июля 1973 г. на Малой Алматинке.* - Сб. *Селевые потоки № 1*, М., 1976, с 60-73.
3. Виноградов Ю. Б. *Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки.* - Л., 1977, 156 с.
4. Герасимов В. А. *Катастрофические явления северного склона Большого Кавказа, связанные с нивально-гляциальными процессами.* - *Материалы гляциологических исследований.* Вып. 32. М., 1978, с. 71-76.
5. Докукин М. Д., Хаткутов А. В. *Озера у ледника Малый Азау на Эльбрусе: динамика и прорывы.* - *Лёд и снег*, Т. 56, №4, 2016, с. 472-479.
6. Докукин М. Д., Савернюк Е. А., Багов А. М., Маркина А. В. *О перестройке гидрографической сети северо-восточного подножия Эльбруса (бассейны рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су).* - *Лёд и снег*, №2 (118), 2012, с. 23-30.
7. Дуйсенов Е. Д. *Селевые потоки в Заилийском Алатау.* - Изд. «Казахстан», Алма-Ата, 1971, 191 с.
8. Есенов У. Е., Деговец А. С. *Селевые потоки 1977 г. на реке Большая Алматинка и задачи защиты города Алматы. Проблемы противоселевых мероприятий.* - Алма-Ата, 1979, с. 213-222.
9. Керемкулов В. А. *Морфометрические характеристики и классификация моренных озер.* - *Селевые потоки*, сб. № 9, М., 1985, с. 36-47.
10. Керемкулов В. А., Цукерман И. Г. *Модель опорожнения моренного озера через грот.* - Сб. 9, *Селевые потоки*, М., Гидрометеоиздат, 1985, с. 59- 70.
11. Киренская Т. Л., Степанов Б. С., Хонин Р. В. *Селевой поток в бассейне Большая Алматинка 19 августа 1975 г.* - Сб. *Селевые потоки № 2*, М., 1977, с. 115 -119.
12. А. Р. Медеу, В. П. Благовещенский, Т. А. Баймолдаев, Т. Л. Киренская, Б. С. Степанов. *Селевые явления Юго-восточного Казахстана. Том 2, часть 2*, Алматы, 2018, 288 с
13. Плеханов П. А., Судаков П. А., Токмагамбетов Г. А. *Причины образования и процессы формирования селевого потока на р. Малой Алматинки 15 июля 1973 г.* - «Вестник АН КазССР», 1975, №4, с.25-35.
14. Плеханов П.А. *Гляциальный сел 19 августа 1975 г. в бассейне р. Б. Алматинки.* - Сб. *Снежные лавины и ледники Казахстана.* Алма-Ата, 1977, с. 144-154.
15. Попов Н. В. *О гляциальном селевом потоке 23 июля 1980 г. на р. Каскелен в Заилийском Алатау.* - Сб. «Проблемы противоселевых мероприятий», «Казахстан», Алма-Ата, 1984, с. 222-230.
16. Попов Н. В. *Исследование озер гляциальной зоны Юго-Востока Казахстана с целью оценки возможности их прорывов и мониторинга селеопасности.* - Автореферат
17. Хегай А. Ю., Анищенко А. П., Шушарин В. И. *Селевые потоки в Заилийском и Джунгарском Алатау (бассейны рек Иссык и Сарканд) в 1982 г.* - *Проблемы противоселевых мероприятий*, Алма-Ата, «Казахстан», 1984, с. 231-237.

18. Шушарин В. И., Марков И. Н. Наблюдение за формированием гляциальных селей в бассейне р. Средний Талгар. – Сб. «Селевые потоки» № 1, М., 1976, с. 98-108.
19. Clague J. J. and Evans S. G. A review of catastrophic drainage of moraine-dammed lakes in British Columbia. - *Quat. Sci. Rev.*, 19(17–18), 2000, p. 1763–1783.
20. 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.
21. Clague J. J., Mathews W. H. The magnitude of jökulhlaups. – *Journal of Glaciology*. 12(66), 1973, p. 501-504.
22. Costa, J.E., and Schuster, R.L. The formation and failure of natural dams. *Geological Society of America Bulletin*, 7, 1988, p. 1054–1068.
23. Evans, S.G. The maximum discharge of outburst floods caused by the breaching of manmade and natural dams. *Canadian Geotechnical Journal*, 23, 1986, p. 385–387.
24. Haeberli, W. Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 4, 1983, p. 85–90.
25. Huggel C., Kääh A., Haeberli W., Teysseire 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.
26. Grabs W. E., Hanish J. Objectives and prevention methods for glacier lakes outburst floods (GLOF). – *Snow and Glacier Hydrology (Proceedings of the Kathmandu Symposium, November 1992)*, IAHS Publ. no. 218, 1993.
27. 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.
28. Popov, N. 1991. Assessment of glacial debris flow hazard in the north Tien-Shan. In *Proceedings of the Soviet-China-Japan Symposium and field workshop on natural disasters, 2–17 Sept. 1991*, pp. 384–39.
29. Walder, J.S., and Costa, J.E. 1996. Outburst floods from glacier-dammed lakes: the effect of mode of lake drainage on flood magnitude. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 701–723.
30. Wang S. and Zhang T. (2013) Glacial lakes change and current status in the central Chinese Himalayas from 1990 to 2010. *J. Appl. Remote Sens.*, 7(1), 073459 (doi: 10.1117/1.JRS.7.073459).
31. Wang, W., Xiang, Y., Gao, Y., Lu, A. & Yao, T. Rapid expansion of glacial lakes caused by climate and glacier retreat in the Central Himalayas. *Hydrol. Process.* 29, 859–874 (2015).
32. Medeu A. R., Popov N. V., Blagovechshenskiy V. P., Askarova M. A., Kamalbekova A., Medeu A. A., Ranova S. U., Bolch T. Moraine -dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan. *Earth-Science Reviews*. EARTH-D-20-00610R1.2022.
33. Голубцов В.В. (1969). О гидравлическом сопротивлении и формуле для расчета средней скорости течения горных рек. *Труды КазНИГМИ*, 33: 30-41.