

Гляциальные сели в Заилийском Алатау за последние 120 лет© 2020 г. А.Р. Медеу¹, В.П. Благовещенский^{1*}, Н.Е. Касаткин¹, В.П. Капица¹,
М.К. Касенов², Ж.Т. Раймбекова^{2,3}¹Институт географии Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы, Казахстан; ²«Казселезащита» Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

*victor.blagov@mail.ru

Glacial debris flows in Zailiysky Alatau over the past 120 yearsA.P. Medeu¹, V.P. Blagoveshchenskiy^{1*}, N.E. Kasatkin¹, V.P. Kapitsa¹, M.K. Kasenov², Zh.T. Raymbekova^{2,3}¹Institute of Geography, Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan;²«Kazselezashchita», Committee Emergency Situations of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan;³Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*victor.blagov@mail.ru

Received December 31, 2019 / Revised February 18, 2020 / Accepted March 10, 2020

Keywords: *glacial mudflows, mudflow activity, mudflow disasters, mudflow protection, Zailiyskiy Alatau.***Summary**

Zailiyskiy Alatau is the most mudflow hazardous mountain region of the Republic of Kazakhstan. At the same time, this area is one of the most densely populated and economically developed one, so mudflows here cause the great damage. The paper presents results of our analysis of the glacial mudflow activity for the period from 1900 to 2019. Amount and total volume of glacial mudflows per year were used as indicators of the mudflow activity. 481 mudflows were recorded over 120 years of observations in the Zailiyskiy Alatau, and 24% of them were glacial mudflows. Glacial mudflows are the largest and most destructive. Of the nine mudflows with a volume of more than 1 million m³, seven were glacial mudflows. The chronicle of mudflow disasters is shown. From 1950 to 2019, 87 glacial mudflows were observed in the Zailiyskiy Alatau. Of these, 16 mudflows had volumes exceeding 100 thousand m³. The largest ones occurred in 1977 (6.0 million m³), 1963 (5.8 million m³), 1958 (4.0 million m³), and 1973 (3.8 million m³). The causes for formation of glacial mudflows are outbursts of moraine lakes or water from underground reservoirs, as well as collapses of moraines' slopes. The largest of them occur when a lake is bursting through an open channel. Since 1951, occurrence of glacial mudflows has been increasing and reached its maximum in the 1970s. Since 1978, the number of glacial mudflows has been decreasing, although their volumes remained large until the late 1990s. From 1997 to 2013, mudflow activity was low. During 11 of the 15 years, no mudflow was observed. Every year only one mudflow happened with a volume below 10 thousand m³. Since 2014, there has been a tendency for an increase in mudflow activity. Large glacial mudflows were recorded in 2014 and 2019. To protect against mudflows in the valleys of the Zailiyskiy Alatau, 14 dams have been built and two more are planned. To prevent outbursts of moraine lakes, they are emptied using pumps and siphons. In 2019, the network of automated monitoring of early warning about mudflows is being organized, which will cover all the valleys of the Northern slope of the Zailiyskiy Alatau.

Citation: Medeu A.P., Blagoveshchenskiy V.P., Kasatkin N.E., Kapitsa V.P., Kasenov M.K., Раймбекова Ж.Т. Glacial debris flows in Zailiyskiy Alatau over the past 120 years. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2020. 60 (2): 213–224. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673420020035.

Поступила 31 декабря 2019 г. / После доработки 18 февраля 2020 г. / Принята к печати 10 марта 2020 г.

Ключевые слова: *гляциальные сели, Заилийский Алатау, селевая активность, селевые катастрофы, селезащитные мероприятия.*

Проанализированы данные о гляциальных, в том числе катастрофических, селях с 1900 по 2019 г., рассмотрены внутри- и межгодовые колебания селевой активности. С 1951 г. активность гляциальных селей стала расти и достигла максимума в 1970-х годах, с 1978 по 1996 г. активность таких селей снижалась, а с 1997 по 2013 г. была низкой. С 2014 г. наметилась тенденция усиления активности гляциальных селей.

Введение

Заилийский Алатау — самый селеопасный горный район Казахстана, но северный склон этого хребта относится к числу наиболее освоенных территорий. На селевых конусах вы-

носа расположен крупнейший мегаполис Казахстана — город Алматы с населением около 3 млн человек. Селевые потоки наносят большой материальный ущерб и приводят к многочисленным жертвам среди населения [1]. Крупные селевые катастрофы происходили в

1921, 1950, 1963, 1973, 1977 гг. Первые две катастрофы были вызваны дождевыми селями, три последние — гляциальными. На долю гляциальных селей приходится около 25% общего числа селей, но их суммарный объём составляет почти 50% суммарного объёма всех селей. После 1950 г. на долю гляциальных селей приходится бо́льшая часть ущерба, причинённого селями, поэтому исследование закономерностей их формирования и распространения — важная научно-практическая задача. В статье выполнен анализ активности гляциальных селей за период с 1900 по 2019 г. В качестве показателей селевой активности использовались их число и суммарный объём в год.

Наблюдения за селями на северном склоне Заилийского Алатау проводятся с начала XX в. Материалы наблюдений обобщены в работе [2]. Статья написана по литературным и архивным данным, а также по материалам полевых наблюдений Института географии Министерства образования и науки Республики Казахстан и «Казселезащиты» Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан.

Район исследований

Хр. Заилийский Алатау — самый северный хребет Тянь-Шаня. Он протягивается на 190 км в широтном направлении вдоль 43° с.ш. от $76^{\circ}05'$ до $78^{\circ}20'$ в.д. Главный водораздел в восточной и западной частях хребта имеет высоту 4000–4100 м над ур. моря (все высоты в статье даны над уровнем моря). В центральной части хребта он поднимается до 4300–4500 м. Высшая точка — пик Талгар высотой 4979 м. Северный склон хребта шириной 30–33 км несколькими ступенями спускается к межгорной впадине р. Или. Подножие хребта расположено на высоте около 1000 м. Южный склон Заилийского Алатау круто падает к долинам рек Чонкемин и Шелек (Чилик), отделяющих его от хр. Кунгей Алатау. Эти хребты в центральной части соединены перемычкой высотой 4400 м.

Северный склон Заилийского Алатау расчленён долинами рек (с востока на запад): Турген, Есик, Талгар, Киши Алматы, Улкен Алматы, Каргалы, Аксай, Каскелен, Шамалган и Узын-

каргалы. В бассейнах всех этих рек есть современные ледники. По результатам каталогизации ледников, выполненной в 2008 г., на северном склоне Заилийского Алатау насчитывается 383 ледника [3]. Общая площадь открытых частей ледников — $171,96 \text{ км}^2$. Из них 220 ледников имеют площадь более 1 км^2 . Самые крупные — это ледники Дмитриева ($5,65 \text{ км}^2$), Кассина ($4,90 \text{ км}^2$) и Горного института ($4,20 \text{ км}^2$).

Общая площадь открытых частей ледников составляет $171,96 \text{ км}^2$, объём льда равен $6,898 \text{ км}^3$. Площадь современных морен с погребёнными льдами, накопившимися в малый ледниковый период, составляет $91,63 \text{ км}^2$ [3]. После окончания малого ледникового периода в конце XIX в. ледники постоянно отступают. С 1955 по 2008 г. площадь открытых частей ледников уменьшилась на 41% [3]. Средняя скорость сокращения площади ледников с 1955 г. составляет $0,76\%$ в год. С 1990 г. она увеличилась до $1,13\%$ [4]. Ежегодно длина ледников уменьшается в среднем на 10–20 м. При таких темпах сокращения оледенения к концу XXI в. в Заилийском Алатау долинные ледники исчезнут. Их место займут морены, погребённые льды и моренные озёра.

В гляциальной зоне Заилийского Алатау на высоте 3440 м с 1973 г. работает круглогодичная метеорологическая станция (ГМС) Института географии Казахстана. По данным этой ГМС с 1973 по 2014 г. средняя годовая температура воздуха повысилась на $1,1^{\circ}\text{C}/\text{год}$ со скоростью $0,027^{\circ}\text{C}/\text{год}$ [5]. Годовая сумма осадков растёт по $1,05 \text{ мм}/\text{год}$. В настоящее время она составляет 990 мм. На высоте границы питания ледников (3800 м) средняя годовая сумма осадков оценивается в 1050–1100 мм. Во всех ледниковых бассейнах есть моренные озера. Число озёр и их размеры постоянно меняются. Многие моренные озёра, существовавшие в 1970-х годах, в XXI в. исчезли из-за оттаивания мерзлоты [5]. В 2017 г. по космическим снимкам Sentinel-2 выполнена каталогизация моренных озёр [6]. Всего на северном склоне Заилийского Алатау выявлено 113 моренных озёр, из которых 17 — прорывоопасные [7]. Самое крупное озеро № 13 находится в бассейне р. Турген, его объём — 1103 тыс. м^3 . Прорывоопасные озёра объёмом более 100 тыс. м^3 есть во всех ледниковых бассейнах Заилийского Алатау.

Материалы и методы

До 1950 г. в Заилийском Алатау фиксировались только крупные сели, выходявшие на предгорные конусы выноса и причинявшие значительный ущерб. Поэтому данные о всех селях этого периода неполные. В 1951 г. был создан Казахский научно-исследовательский гидрометеорологический институт (КазНИГМИ), и исследования селей с этого времени приобрели систематический характер. С 1950-х годов исследования гляциальных селей ведёт также Институт географии Министерства образования и науки Республики Казахстан. После 1950 г. данные о селях становятся полными и достоверными. С 1973 г. в Казахстане работает специализированная организация «Казселезащита» Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан одна из задач которой — наблюдения за селями. Материалы этих организаций использованы при написании данной статьи. Данные о селях Казахстана обобщены в работе [2]. В ней приведены сведения о 481 селе различного генезиса на северном склоне Заилийского Алатау. Для анализа отобраны данные о 87 гляциальных селях в период с 1951 по 2019 г. Не включены в анализ сведения о селях объёмом менее 1 тыс. м³, так как такие сели обычно не документировались и данные о них непредставительны. К тому же их распространение ограничено уступами современных морен, а их доля в суммарном объёме селей составляет менее 1%.

Из описаний селей, приведённых в первоисточниках, выбирались сведения о дате, месте схода селя, причинах схода, объёме прорвавшегося озера, объёме селя, максимальном расходе и нанесённом ущербе. Гляциальный генезис селя устанавливался по результатам полевых исследований и анализа метеорологических условий. В качестве причин схода селя называли: поверхностный или подземный прорыв моренного озера, обрушение моренного склона и прорыв внутриморенного водоёма. Если первые три причины легко диагностируются специалистами, то прорыв подземного водоёма не столь очевиден и признаётся не всеми исследователями. Иногда эта причина схода селя называется, если ни одна из других причин не подтверждается. Формирование гляциальных селей в ряде случаев сопровождалось жидкими осадками. Однако они никогда не играли существенной роли, хотя могли

служить дополнительным источником увлажнения морен. Дело в том, что в условиях Заилийского Алатау дожди в гляциальной зоне бывают редко и не достигают большой интенсивности. Кроме того, любые осадки в этой зоне приводят к понижению температуры воздуха и уменьшению абляции льда, поэтому в нескольких случаях схода мелких селей, во время которых были жидкие осадки, генезис селей считался гляциальным.

Объём селя в соответствии с исследованием [8] определялся как объём селевых отложений без учёта жидкой составляющей. Измерялся он только для крупных и очень крупных селей тахеометрической съёмкой. Все гляциальные сели были грязекаменными [2]. Для этих селей характерна высокая плотность селевой массы (2200–2400 кг/м³), при которой доля жидкой составляющей в селевой массе не превышает 25% [8]. Расходы селей рассчитывались по данным о площади поперечного сечения селевого потока, полученным по следам максимального уровня потока на бортах русла, и скорости, рассчитанной по глубине потока и уклону русла [8]. Для селей объёмом менее 100 тыс. м³ объёмы и расходы селей определялись очень редко. Такие сели в работе [2] было предложено делить по объёмам на следующие категории: очень мелкие (< 1 тыс. м³), мелкие (1–10 тыс. м³) и средние (10–100 тыс. м³). Соответственно сели объёмом от 100 до 1000 тыс. м³ считаются крупными, а сели объёмом более 1 млн м³ — очень крупными. Очень мелкие сели в данной работе не учитывались. Для расчётов суммарных объёмов мелких и средних селей использовался средний логарифмический объём диапазона. Он равен 3,3 тыс. м³ для мелких селей и 33 тыс. м³ — для средних селей. От использования среднего арифметического объёма пришлось отказаться из-за большой положительной асимметрии распределения объёмов селей. Данные об ущербах приведены согласно первоисточникам.

Хроника крупных гляциальных селей

До 1951 г. считалось, что в Заилийском Алатау ледники не могут вызвать разрушительный сел [9]. В работе [10] упоминаются как гляциальные небольшие сели 1927, 1938 и 1944 гг. С.П. Кавецкий [11] называл их «селевые потоки неливневого происхождения». Крупные гляциальные сели

Таблица 1. Наиболее крупные гляциальные сели

Дата	Бассейн реки	Селевой очаг	Объём воды в озере, тыс. м ³	Объём селя, млн м ³	Максимальный расход селя, м ³ /с	Ущерб
20.08.1951 г.	Киши Алматы	Морена ледника Туйыксу	20	0,2	Нет данных	Разрушены мосты
07.08.1956 г.			32	1,1	1000	Большие разрушения, человеческие жертвы
06.07.1958 г.	Есик	Озеро под ледником Жарсай	250	4,0	Нет данных	Уничтожен еловый лес в долине р. Есик
07.07.1963 г.			450	5,8	12 000	Уничтожено оз. Есик, большие разрушения, человеческие жертвы
15.07.1973 г.	Киши Алматы	Озеро под ледником Туйыксу	230	3,8	10 000	Большие разрушения, человеческие жертвы
19.08.1975 г.	Улкен Алматы	Морена под ледником Молодёжный	5	0,1	300	Разрушены мосты и дорога
03.08.1977 г.		Озеро под ледником Советов	88	6,0	11 000	Большие разрушения, человеческие жертвы
03.07.1977 г.	Есик	Озеро под ледником Жарсай	430	0,4	630	Отсутствует
21.06.1979 г.	Средний Талгар	Озеро под ледником Спортивный	82	0,3	340	Уничтожен альпинистский лагерь
23.07.1980 г.	Каскелен	Озеро № 16	290	2,0	500	Разрушены мосты, дорога
30.06.1982 г.	Есик	Морена ледника Жарсай	Нет данных	1,0	Нет данных	Отсутствует
07.08.1982 г.				0,5		Разрушены мосты
06.07.1993 г.	Средний Талгар	Озеро под ледником Безымянный	100	2,0	2000	Разрушены мосты, дорога, дома, ЛЭП
03.07.1994 г.	Улкен Алматы	Озеро под ледником Аршалы	Нет данных	0,1	500	Отсутствует
17.07.2014 г.	Средний Талгар,	Озеро под ледником Солнечный	50	0,3	300	Разрушены мосты, дорога, дома, ЛЭП
23.07.2015 г.	Каргалы	Озеро под ледником Каргалинский	80	0,15	40	Подтоплены жилые дома

в Заилийском Алатау стали отмечаться с 1951 г. Их характеристики приведены в табл. 1. Первый крупный гляциальный селя в Заилийском Алатау наблюдался 20 августа 1951 г. [12]. Сель сформировался в результате подземного прорыва моренного озера и обрушения склона морены ледника Туйыксу. Селевой поток вынес более 200 тыс. м³ каменных обломков и разрушил все мосты по долине р. Киши Алматы выше Медеу. По долине р. Киши Алматы 7 августа 1956 г. прошёл уже очень крупный гляциальный селя [13], который образовался при прорыве озера под ледником Туйыксу, сопровождавшимся обрушением морены и, возможно, опорожнением внутриморенной ёмкости. Объём этого селя — 1,1 млн м³, расход — 500–1000 м³/с. При сходе селя погибли люди, были разрушены жилые дома, мосты, дорога.

6 июля 1958 г. крупный гляциальный селя сформировался в долине р. Есик при прорыве озера под ледником Жарсай [14]. Прорыв на-

чался подземным путём, после обрушения кровли тоннеля он продолжился поверхностным путём. Объём озера составлял 250 тыс. м³, объём селя — 4 млн м³. Сель остановился в котловине завального оз. Есик, пройдя 13 км и уничтожив много елового леса на дне долины. Всего через пять лет 7 июля 1963 г. по тому же пути и сценарию здесь прошёл уже катастрофический селя [15]. Его объём — 5,8 млн м³. Расходы селевого потока достигали 7 000–12 000 м³. Котловина оз. Есик не смогла сдержать селя такого масштаба. Под напором волн высотой до 5,5 м, поднятых в озере селом, завальная плотина не выдержала. В ней образовался проран, через который озеро объёмом 18 млн м³ вытекло почти полностью, сформировав вторичный селя. Сель прошёл по всей долине р. Есик и вызвал разрушения в г. Есик на конусе выноса. В этот погожий воскресный день на озере было много отдыхающих, что и привело к большому числу жертв: некоторые эксперты оценивают их количество

до 500 человек. Также велик был и материальный ущерб, разрушены мосты, дороги, ЛЭП, дома.

Самым известным в Заилийском Алатау можно считать гляциальный сель 15 июля 1973 г. [16, 17]. Сель начался после прорыва моренного озера под ледником Туйыксу объёмом 230 тыс. м³. Прорывной паводок с расходом до 350 м³/с сформировал сель, в результате которого на дне широкой троговой долины ниже морены отложилось 140 тыс. м³ каменного материала. На пути селя оказалась каменная плотина, рассчитанная на задержку селя объёмом 35 тыс. м³, но, разрушив эту плотину, селевой поток ринулся в крутой и глубокий селевой врез, набирая объём и скорость. Через 15 минут, пройдя почти 8 км, сель обрушился в селехранилище перед плотиной Медеу. Его объём составил 3,8 млн м³, расход 10 000–13 000 м³/с. По пути сель разрушил ещё одну, на этот раз сквозную плотину. Селем был нанесён огромный материальный ущерб, разрушена турбаза «Горельник». Погибли десятки людей. Его смогла остановить только плотина Медеу, построенная всего за год до селя. Она спасла от разрушения юго-восточную часть г. Алматы. После селя 1973 г. высота плотины была наращена и ёмкость селехранилища увеличилась с 9,5 до 12 млн м³.

19 августа в 1975 г. произошёл прорыв озера под ледником Молодёжный в бассейне р. Улкен Алматы [18, 19]. Прорывной паводок трансформировался в сель в эрозионном врезе р. Кумбелсу. Сель объёмом более 100 тыс. м³ и расходом до 300 м³/с вышел в долину р. Улкен Алматы и прошёл по ней 8 км, разрушив мосты и дорогу. Всего через два года 3 августа 1977 г в очаге р. Кумбелсу сформировался уже катастрофический сель, который был вызван прорывом озера под ледником Советов [20]. Объём селя – 6,0 млн м³, расход – 10 000–11 000 м³/с. Селевые отложения заполнили дно долины р. Улкен Алматы на протяжении 6,5 км от устья р. Кумбелсу до выхода из гор. Сель разрушил три моста, автомобильную дорогу, ЛЭП, девять домов, повредил ГЭС и водопровод. Несколько человек погибло. В том же году, 3 июля, снова произошёл подземный прорыв озера под ледником Жарсай в бассейне р. Есик, который вызвал сель объёмом 400 тыс. м³ и расходом 630 м³/с [2].

21 июня 1979 г. в долине Среднего Талгара произошёл прорыв моренного озера под ледником Спортивный. Прорывной паводок с расходом 340 м³/с вызвал сель объёмом 110 тыс. м³, который

полностью разрушил альпинистский лагерь «Талгар» [2]. В бассейне р. Каскелен 23 июля 1980 г. при прорыве моренного озера № 16 объёмом 290 тыс. м³ образовался сель объёмом 2 млн м³ и расходом 500 м³/с. Сель разрушил мосты и несколько хозяйственных объектов. 5 июля 1986 г. это озеро снова прорвалось, образовав сель объёмом 80 тыс. м³ [2].

В 1982 г. 30 июня и 7 августа при обрушении склонов морены Жарсай в бассейне р. Есик образовались сели объёмом 1 и 0,5 млн м³ соответственно. Сель 30 июня остановился в котловине оз. Есик, а сель 7 августа дошёл до выхода из гор и разрушил два моста [2]. В бассейне р. Средний Талгар 6 июля 1993 г. произошёл подземный прорыв озера под ледником Безымянный, при котором образовался сель объёмом 2 млн м³ и расходом 2000 м³/с. Сель разрушил коммуникации по долине р. Талгар, дошёл до селехранилища недостроенной защитной плотины, повредив её, и по руслу р. Талгар прошёл через г. Талгар [2]. 3 июля 1994 г. в бассейне р. Улкен Алматы подземным путём прорвалось моренное озеро в истоках р. Аршалы, левого притока р. Озёрной. Объём селя – 100 тыс. м³, расход – 500 м³/с. Сель дошел до Большого Алматинского озера [2]. 17 июля 2014 г. по руслу Среднего Талгара снова прошёл крупный гляциальный сель, образовавшийся при подземном прорыве озера под ледником Солнечный (рис. 1). Его объём – 300 тыс. м³. Сель дошел



Рис. 1. Входное отверстие внутриморенного тоннеля, по которому произошёл прорыв озера под ледником Солнечный в 2014 г. Фото В.П. Капицы

Fig. 1. The tunnel where the lake under the Solnechny Glacier broke in 2014. Photo by V.P. Kapitsa



Рис. 2. Отложения гляциального селя перед защитной плотиной в Талгаре в 2014 г. Фото В.П. Благовещенского

Fig. 2. Glacial mudflow deposits in front of the protective dam in Talgar in 2014. Photo by V.P. Blagoveshchenskiy

до защитной плотины, разрушив дорогу и несколько производственных зданий (рис. 2).

По р. Каргалы 23 июля 2015 г. прошёл сель, образовавшийся при подземном прорыве моренного озера под ледником Каргалинский. Сель объёмом 150 тыс. м³ дошёл до выхода из гор и был остановлен защитной плотиной. Однако постселевый паводок, сбрасываемый через нерегулируемые шлюзы с расходом 30 м³/с, стал размывать старые селевые отложения на конусе выноса ниже плотины. В результате возник вторичный сель, прошедший по конусу выноса через пос. Карагайлы 5 км. Было повреждено 456 домов, разрушено семь мостов и 27 опор ЛЭП (рис. 3). Из опасной зоны было эвакуировано более 1000 человек.

Результаты исследований

Распределения числа и объёмов селей. Всего за 70-летний период наблюдений с 1950 по 2019 г. в бассейнах рек северного склона Заилийского Алатау зарегистрировано 87 гляциальных селей объёмом более 1000 м³. Из них 82% приходится на сели объёмом от 100 тыс. м³. Крупные и очень крупные сели объёмом более 100 тыс. м³ составляют 8% общего числа гляциальных селей, но на их долю приходится 97% суммарного объёма селей. Распределение числа селей разного



Рис. 3. Разрушения, вызванные селом в пос. Карагайлы в 2015 г. Фото В.П. Благовещенского

Fig. 3. Destruction caused by mudflow in the village of Karagailv in 2015. Photo by V.P. Blagoveshchenskiy

объёма имеет ярко выраженную положительную асимметрию, а распределение суммарных объёмов селей — столь же ярко выраженную отрицательную асимметрию (рис. 4).

Водная составляющая селей образуется преимущественно от таяния ледников. И хотя в ледниковой зоне иногда выпадают жидкие осадки, они не играют существенной роли в формировании гляциальных селей. Дело в том, что осадки в высокогорье Заилийского Алатау даже летом обычно выпадают в виде снега. При этом они сопровождаются понижением температуры воздуха и повышением облачности, что уменьшает абляцию ледников и ледникового стока. Поскольку непосредственно ледниковый сток не обеспечивает селеформирующих расходов [10], для формирования селей необходимо, чтобы сначала произошло накопление талых вод в озере или во внутриледниковой полости, или в порах моренного грунта. Только быстрое высвобождение накопившихся водных масс способно дать импульс селеобразованию. Поэтому объём селя в значительной мере зависит от механизма прорыва водной массы [21].

По механизму образования гляциальные сели делятся на сели, формирующиеся: при спуске ледниковых озёр, при спуске воды из внутриледниковых емкостей, при обрушении обводнённых массивов морен. Случаев образования селей при обрушениях в озеро ледников или горных обвалов, описанных в других горных

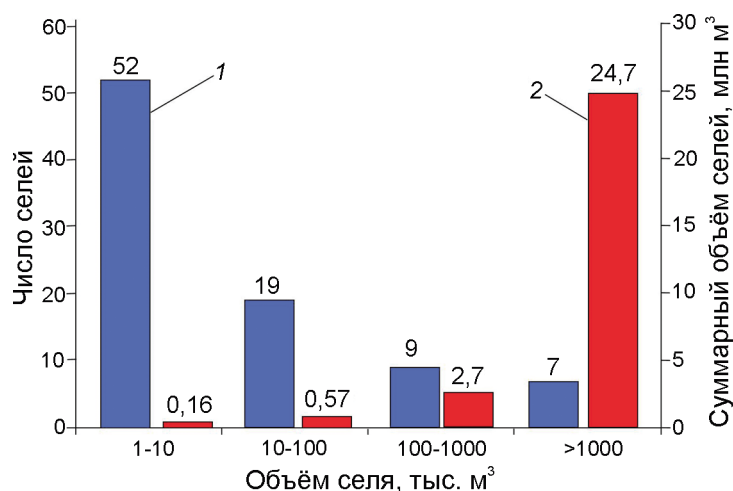


Рис. 4. Распределение числа (1) и суммарного объема (2) гляциальных селей по градациям объема селей за период 1950–2019 гг.

Fig. 4. Distribution of the amount (1) and the total volume (2) of glacial mudflows according to mudflow volume for the period 1950–2019

районах [7, 22], в Заилийском Алатау не наблюдалось. Сели, образующиеся при прорывах поверхностных и подземных водоёмов, относятся к прорывным гляциальным селям. Такие сели могут быть очень крупными, поэтому они очень опасны. В Заилийском Алатау все семь селей объемом более 1 млн м³ – прорывные. Из них шесть селей сформировались при прорывах озёр и только один сель – при прорыве подземного водоёма. Наиболее опасные – поверхностные прорывы озёр. Образующиеся при этом сели отличаются наибольшими объемами и расходами. Их объёмы в Заилийском Алатау достигали 5,6 млн м³, а расходы – 10 000 м³/с. Катастрофические сели 1963 г. на р. Есик, 1973 г. на р. Киши Алматы и 1977 г. на р. Улкен Алматы обусловлены поверхностными прорывами озёр. Это связано с тем, что разрушение озёрной перемычки с образованием поверхностного стока вызывает особенно быстрое опорожнение озера. При этом происходит быстрое углубление канала стока и

нарастание расхода прорывного паводка. При обрушениях морен обычно образуются мелкие сели и редко – средние по объёму сели.

Внутригодовая изменчивость активности гляциальных селей. Самый ранний в сезоне гляциальный сель отмечен 3 июня 1977 г., а самый поздний – 4 сентября 1959 г. Если рассмотреть число гляциальных селей, случившихся в ту или иную декаду летнего сезона, то окажется, что с первой декады июня до второй декады июля происходит медленное увеличение частоты схода селей (рис. 5). Во вторую декаду июля активность гляциальных селей резко возрастает. На эту декаду приходится 24% общего числа селей за год. В следующие три декады – с 21 июля по 20 августа – селевая активность снижается, но остаётся достаточно высокой. Всего на период с 1 июля по 20 августа приходится 79% общего числа гляциальных селей. После 20 августа число гляциальных селей резко сокращается и составляет всего два селя в декаду.

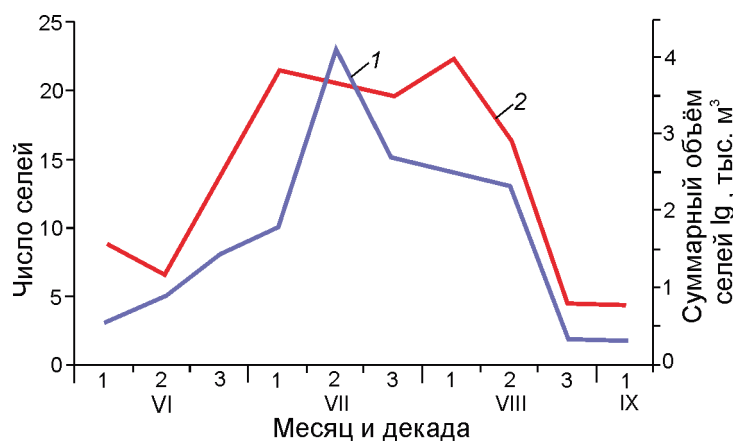


Рис. 5. Число (1) и суммарный годовой объём (2) гляциальных селей, сошедших в разные декады летнего сезона за период 1950–2019 гг.

Fig. 5. Distribution of the total number (1) and the total annual volume (2) of glacial mudflows occurred during different ten-days of the summer season for the period 1950–2019

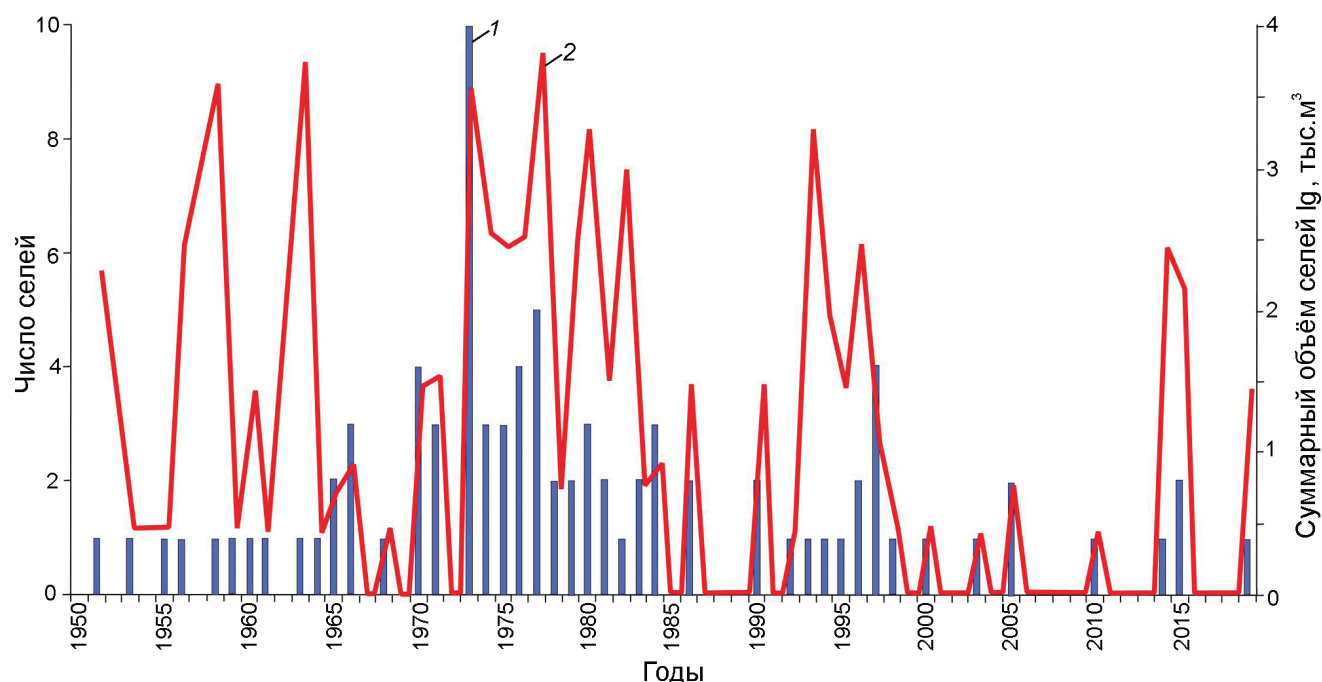


Рис. 6. Изменение числа (1) и суммарного годового объёма (2) гляциальных селей по годам за период 1950–2019 гг.
Fig. 6. Change in the total annual number (1) and the total annual volume (2) of glacial mudflows for 1950–2019

Внутригодовое распределение общего объёма гляциальных селей несколько отличается от распределения числа селей (см. рис. 5). До 1 июля сходят только мелкие сели, и суммарный объём селей за декаду в это время не превышает 2% общего объёма селей. Все крупные сели (95% суммарного объёма) сходили в период с 1 июля по 10 августа. Максимальный декадный объём селей приходится на первую декаду августа – 39% суммарного объёма. Во второй декаде августа объём селей составляет всего 4%, а в период с 21 августа по 10 сентября он не превышает 1%. Эти особенности внутригодового распределения активности гляциальных селей тесно связаны с температурным режимом воздуха и грунтов в гляциальной зоне. В середине июля происходит резкий рост дневных температур воздуха. В конце июля температуры воздуха достигают максимальных значений, а в начале августа отмечается максимальная глубина протаивания мёрзлых грунтов на моренах.

Межгодовая изменчивость активности гляциальных селей. Отсутствие данных о гляциальных селях до 1951 г. обычно объясняют тем, что в это время наблюдения за селями проводились эпизодически и не охватывали высокогорную зону. Однако, если бы в это время случа-

лись сели, сходные по масштабу с селями 1963 г. в Есике, 1973 г. в Киши Алматы или 1977 г. в Улкен Алматы, то они были бы зафиксированы. Поэтому можно утверждать, что до 1951 г. особенно крупных гляциальных селей в Заилийском Алатау не было. Это позволяет сделать заключение, что до 1950-х годов активность гляциальных селей была низкая. С 1951 г. селевая активность увеличилась. С 1951 по 1965 г. за 15 лет было 10 лет с селями (рис. 6). При этом в год сходило только по одному селю. С 1965 г. активность гляциальных селей стала нарастать и достигла максимума в 1973 г., когда за год было 10 селей. После 1984 г. частота схода селей снижается и это продолжается до конца 1990-х годов. В первую декаду XXI в. селевая активность продолжает оставаться низкой. С 1998 по 2013 г. из 15 лет 11 лет были без селей. В год сходило по одному селю, и только в 2005 г. было отмечено два селя. С 2013 г. наметилась тенденция увеличения частоты схода гляциальных селей. За шесть лет без селей было только три года.

Многолетнюю изменчивость объёмов гляциальных селей понять непросто (см. рис. 6). Повышение годовых суммарных объёмов селей наблюдается уже с 1951 г. Пик показателя селевой активности приходится на 1963–1977 гг.

Они достигают максимальных значений — 5,8 и 6,3 млн м³ в 1963 и 1977 гг. соответственно. Волна повышенной селевой активности продолжалась до 1996 г. На этом фоне наблюдалось два периода спада селевой активности: в 1965–1972 и 1985–1992 гг. После 1996 г. годовые объёмы селей резко снижаются. С 1996 до 2013 г. суммарные объёмы селей остаются на низком уровне — всего 3–6 тыс. м³. С 2014 г. наблюдается увеличение годовых суммарных объёмов гляциальных селей. В 2014 и 2015 г. они составляли 300 и 153 тыс. м³ соответственно. Это увеличение могло быть значительно большим, если бы «Казселезащита» не проводила активных работ по превентивному опорожнению прорывоопасных озёр. Именно благодаря этим мероприятиям в период между 2010 и 2019 гг. удалось предотвратить сход, по крайней мере, трёх крупных селей.

Такой характер многолетних изменений активности гляциальных селей невозможно объяснить изменениями климата, поскольку в период с 1950 по 2019 г. наблюдалось устойчивое повышение температуры воздуха и сокращение ледников. Снижение числа гляциальных селей и уменьшение их суммарных годовых объёмов вызвано уменьшением числа прорывоопасных озёр после их многочисленных прорывов в 1950–80-е годы. Новые прорывоопасные озёра пока не успели появиться. Однако в последние годы активность гляциальных селей повышается и вероятно будет продолжаться в ближайшее время. Сейчас происходит рост приледниковых моренных озёр, граничащих с краями ледников, за счёт отступления ледников. Это особенно заметно в бассейнах рек Турген и Улкен Алматы. Поэтому необходим постоянный мониторинг наполнения моренных озёр и устойчивости озёрных перемычек. Мониторинг должен проводиться автоматическими станциями и по космическим снимкам.

Селезащитные мероприятия. Для защиты от селей в Казахстане в 1973 г. была создана специализированная организация «Казселезащита», которая в настоящее время входит в структуру Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. Основные защитные объекты — селезадерживающие плотины, а мероприятия — профилактические опорожнения прорывоопасных моренных озёр [23]. Всего в Заилийском Алатау построено 14 селезащитных плоти-

Таблица 2. Селезащитные плотины в Заилийском Алатау

Долина реки	Тип плотины	Высота, м	Ёмкость селехранилища, млн м ³
Есик	Сквозная железобетонная	13	1,5
	Сплошная каменная	48	12,8
Кайназар	Сплошная железобетонная	8,6	0,267
		5,5	0,144
Рахат		5,5	0,107
Киши Алматы «Мынжылкы»	Сплошная каменная	23	0,25
Киши Алматы «Сарысай»	Сплошная железобетонная	8	0,1
Киши Алматы «Медеу»	Сплошная каменная	150	12,6
Киши Алматы «Лесничество»	Сквозная стальная	6	0,1
Талгар	Сплошная железобетонная	45	8,5
Улкен Алматы		40	14,5
Каргалы		28,8	1,2
Каскелен	Сквозная железобетонная	19,8	2,2
Узынкаргалы	Сплошная каменная	34	1,46

тин различной конструкции: сплошные каменные и железобетонные, а также сквозные железобетонные и стальные (табл. 2). Они защитили г. Алматы в 1973 г., г. Талгар — в 1993 и 2014 г., пос. Карагайлы — в 2015 г. В настоящее время планируется построить ещё две плотины: одну в долине р. Аксай и одну в долине р. Улкен Алматы.

Сплошные селезадерживающие плотины — наиболее надёжное средство защиты от селей. Однако в процессе эксплуатации был установлен один существенный их недостаток — они не предотвращают формирование вторичных селей, возникающих при прохождении постселевых паводков ниже плотин. Чтобы такого не случилось, необходимо оборудовать плотины регулирующими шлюзами. Сквозные плотины не всегда выполняют свою защитную роль. В Заилийском Алатау с 1973 г. селями были разрушены четыре сквозные плотины.

Превентивное опорожнение моренных озёр проводится в Заилийском Алатау с 1964 г. [23]. В Казахстане сотрудниками «Казселезащиты» проведено опорожнение более 20 озёр. Особенно активно эти работы ведут с 2016 г. В настоящее время проводится опорожнение восьми озёр. Для откачки воды используют насосы,



Рис. 7. Опорожнение ледникового оз. Каргалы в 2019 г. Фото В.П. Благовещенского

Fig. 7. Emptying the Kargaly glacial lake in 2019. Photo by V.P. Blagoveshchenskiy

смонтированные на плавучих платформах, и сифоны диаметром 200 мм (рис. 7). Поверхностные каналы прокладываются с использованием мини-экскаваторов и мини-бульдозеров. Техника доставляется на место работ вертолётами.

В 2019 г. в результате превентивного опорожнения удалось предотвратить прорыв моренного озера под ледником Каргалы в одномимённом бассейне. Это озеро уже прорывалось по подземному каналу в 2015 г, что привело к формированию селя объёмом 150 тыс. м³. Сель был остановлен на выходе из гор защитной дамбой. В 2019 г. озеро вновь начало наполняться. Уровень воды поднимался со скоростью около 10 см в день. К середине июня объём озера достиг 77,2 тыс. м³, а уровень поднялся до гребня озёрной перемычки. Чтобы не допустить прорывы озера, были предприняты работы по снижению его уровня. Откачку воды через озёрную перемычку вели шестью насосами производительностью 360 л/с, установленными на плавучих платформах (см. рис. 7), и сифоном диаметром 200 мм. Кроме того, экскаватором был прорыт эвакуационный канал глубиной 2,5 м. За период с 6 июня по 13 августа из озера было сброшено 1,6 млн м³ воды. В результате уровень воды в озере был понижен на 3,7 м. Объём озера при этом уменьшился на 42 тыс. м³. 14 августа озеро всё-таки прорвалось, но из-за невысокого давления воды в подземном канале расход прорывного паводка не превышал 4 м³/с. Пример-

но с таким же расходом наносоводный паводок пришёл в селехранилище перед защитной дамбой, где и остановился.

В 2019 г. превентивное опорожнение проводилось ещё на шести озёрах Заилийского Алатау. Во время этих работ было сброшено 4,6 млн м³ воды. В этот же год началось развёртывание сети автоматизированного мониторинга селевой опасности на реках Киши Алматы, Улкен Алматы, Каргалы и Аксай, по которым сходят сели, угрожающие г. Алматы [24]. В эту сеть входят станции мониторинга на восьми моренных озёрах, шесть станций в очагах формирования дождевых селей, десять станций в селевых руслах и пять станций на селезащитных дамбах. Данные с автоматических станций будут поступать на диспетчерские пункты «Казселезащиты» и в Департамент по чрезвычайным ситуациям г. Алматы. Работы будут завершены в 2020 г. В дальнейшем автоматизированный мониторинг селевой опасности будет развёрнут во всех селеопасных долинах Заилийского Алатау.

Заключение

В Заилийском Алатау гляциальные сели, образующиеся при прорывах моренных озёр, более опасны, чем дождевые сели. С 1900 по 2019 г. из девяти селей, имевших объём более 1 млн м³, семь селей были прорывными гляциальными. Максимальный объём зарегистрированного гляциального селя — 6 млн м³. От общего числа селей гляциальные составляют около 25%, но на их долю приходится почти 50% суммарного объёма. Среди гляциальных селей по числу преобладают мелкие и средние сели объёмом менее 100 тыс. м³. На крупные и очень крупные сели с объёмами более 100 тыс. м³ приходится только 8% общего числа гляциальных селей, но их суммарный объём, равный 27,4 млн м³, составляет 97% объёма всех гляциальных селей. Самые мощные сели образуются при поверхностных прорывах моренных озёр.

В летний сезон максимум активности гляциальных селей (95% их суммарного объёма) отмечается с 1 июля по 10 августа, когда в гляциальной зоне регистрируются максимальные температуры воздуха, интенсивная абляция ледников и активизация термокарстовых процес-

сов на озёрных перемычках. Все сели объёмом более 100 тыс. м³ сходили именно в этот период. Такую особенность необходимо учитывать при планировании противоселевых мероприятий.

В первой половине XX в. крупных гляциальных селей в Заилийском Алатау не отмечено. Увеличение активности гляциальных селей началось в 1950-е годы и достигло максимума в 1963–1977 гг. Затем последовал период уменьшения селевой активности, продолжавшийся до 2013 г. Это объясняется тем, что к концу XX – началу XXI в. многие моренные озёра уже исчезли. Однако в последние годы снова наметилась тенденция повышения селевой активности, что может быть связано с появлением новых озёр и увеличением размеров старых при отступании ледников, скорость сокращения которых увеличивается.

В формировании гляциальных селей большую роль играют геологические и геокриологические условия ледниково-моренных комплексов, поэтому качественный прогноз гляциальных селей невозможен без мониторин-

га наполнения озёр и состояния грунтов озёрных перемычек с помощью автоматических станций. Надёжным средством защиты от селей служат селезадерживающие дамбы, но они должны быть оборудованы устройствами для регулируемого пропуска постселевых паводков, чтобы не допустить образования вторичных селей ниже дамбы. Превентивное опорожнение прорывоопасных моренных озёр – эффективная мера по предотвращению формирования гляциальных селей, позволившая с 2010 по 2019 г. предотвратить прорывы трёх озёр.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по проекту «Селебезопасность Республики Казахстан» № AP05132214.

Acknowledgements. This work was supported by Committee of Science of Ministry Education and Science of the Republic of Kazakhstan project «Mudflow safety of the Republic of Kazakhstan» № AP05132214.

Литература

1. Medeu A.R., Blagoveshchenskiy V.P., Gulyayeva T.S., Ranova S.U. Debris flow activity in Trans-Ili Alatau in 20th – early 21st centuries // Geogr. Nat. Resour. 2019. № 40. P. 292–298. <https://doi.org/10.1134/S1875372819030120>.
2. Медеу А.Р., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Антология селевых явлений и их исследования. Алматы: Наука, 2016. 575 с.
3. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Изменение ледниковых систем северного склона Заилийского Алатау во второй половине XX и начале XXI вв. // Лёд и Снег. 2011. № 4 (116). С. 39–46.
4. Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., Kokarev A., Kogutenko L., Usmanova Z., Morozova V., Raup B. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, Central Asia, over recent decades // Annals of Glaciology. 2016. V. 57. № 71. P. 382–394. doi: 10.3189/2016AoG71A575.
5. Медеу А.Р., Токмагамбетов Т.Г., Кокарев А.Л., Ерисковская Л.П., Киренская Т.Л., Плеханов П.А., Плеханова Н.С. О влиянии гляциологических и гидрометеорологических условий на гляциальную опасность Заилийского Алатау // Лёд и Снег. 2017. Т. 57. № 2. С. 261–268. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-2-261-268>.
6. Капица В.П., Усманова З.С., Северский И.В., Благовещенский В.П., Касаткин Н.Е., Шахгеданова М.В. Ледниковые озера Иле (Заилийского) Алатау: состояние, современные изменения, вероятные риски // Геориск. 2018. № 3. С. 68–78.

References

1. Medeu A.R., Blagoveshchenskiy V.P., Gulyayeva T.S., Ranova S.U. Debris flow activity in Trans-Ili Alatau in 20th – Early 21st Centuries. Geogr. Nat. Resour. 2019, 40: 292–298. <https://doi.org/10.1134/S1875372819030120>.
2. Medeu A.R., Baymoldayev T.A., Kirenskaya T.L. Selevyye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Antologiya selevykh yavleniy i ikh issledovaniya. Mudflow phenomena of South-East Kazakhstan: Anthology of mudflow phenomena and their research. Almaty: Nauka, 2016: 575 p. [In Russian].
3. Kokarev A.L., Shesterova I.N. Change of glacier systems of the northern slope of Trans-Ili Alatau at the second half XX and the beginning XXI cc. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2011, 4 (116): 39–46. [In Russian].
4. Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., Kokarev A., Kogutenko L., Usmanova Z., Morozova V., Raup B. Changes in glaciations of the Balkhash–Alakol basin, Central Asia, over recent decades. *Annals of Glaciology*. 2016, 57 (71): 382–394. doi: 10.3189/2016AoG71A575.
5. Medeu A.R., Tokmagambetov T.G., Kokarev A.L., Erisikovskaya L.A., Kirenskaya T.L., Plekhanov P.A., Plekhanova N.S. Effect of glaciological and hydro-meteorological conditions on the glacial danger in Zailiysiy Alatau. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2017, 57 (2): 261–268. [In Russian]. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-2-261-268>.
6. Kapitsa V.P., Usmanova Z.S., Severskiy I.V., Blagoveshchenskiy V.P., Kasatkin N.E., Shakhgedanova M.V. Glacial lakes of Ile (Trans-Ili) Alatau: state, recent changes, probability risks. *Georisk*. 2018, 3: 68–78. [In Russian].
7. Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchenskiy V. Identification of potential-

7. Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan // *Natural Hazards*. 2011. № 59 (3). P. 1691–1714.
8. Руководство по изучению селевых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 144 с.
9. Пальгов Н.Н. Катастрофические паводки на ледниковых реках Заилийского Алатау // *Изв. Всес. геогр. об-ва*. 1947. Т. 79. Вып. 2. С. 175–187.
10. Токмагамбетов Г.А., Судаков П.А., Плеханов П.А. Гляциальные сели Заилийского Алатау и пути их прогноза // *МГИ*. 1980. Вып. 39. С. 97–101.
11. Кавецкий С.П., Смирнов И.П. Селевые паводки неливневого происхождения // *Тр. КазНИГМИ*. 1957. Вып. 9. С. 43–52.
12. Черкасов П.А. Грязе-каменный поток в долине Малой Алматинки // *Изв. АН КазССР. Сер. геол.* 1953. № 121. Вып. 16. С. 118–120.
13. Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 55 с.
14. Попов Н.В. Прорывные гляциальные сели и борьба с ними в горах Северного Тянь-Шаня // *МГИ*. 1987. Вып. 59. С. 189–195.
15. Кавецкий С.П., Калмынкина Е.М. Сель на р. Иссык 7 июля 1963 года // *Вестн. МГУ. Сер. География*. 1964. № 2. С. 77–80.
16. Флейшман С.М., Моссаковская И.А., Перов В.Ф. Алматинский сель 15 июля 1973 г. // *Вестн. МГУ. Сер. География*. 1974. № 2. С. 35–39.
17. Виноградов Ю.Б., Хонин Р.В., Земс А.Э. Селевой поток 15 июля 1973 г. на Малой Алматинке // *Селевые потоки*. 1976. № 1. С. 60–73.
18. Киренская Т.Л., Степанов Б.С., Хонин Р.В. Селевой поток в бассейне реки Большая Алматинка 19 августа 1975 г. // *Селевые потоки*. 1977. № 2. С. 115–119.
19. Плеханов П.А. Гляциальный сель 19 августа 1975 года в бассейне р. Б. Алматинки // *Снежные лавины и ледники Казахстана*. Алма-Ата: Наука, 1977. С. 144–154.
20. Лантев В.И. Описание селевого потока 3–4 августа 1977 г. в бассейнах рек Кумбельсу и Большой Алматинки // *Селевые потоки*. 1990. № 5. С. 55–59.
21. Walder J.S., Costa J.E. Outburst floods from glacier-dammed lakes: the effect of mode of lake drainage on flood magnitude // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1996. № 21. P. 701–723.
22. Hubbard B., Heald A., Reynolds J.M., Quincey D.J., Richardson S.D., Zapata M., Santillan N., Hambrey M.J. Impact of a rock avalanche on a moraine-dammed proglacial lake: Laguna Safuna Alta, Cordillera Blanca, Peru // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2005. № 30. P. 1251–1264.
23. Безопасность и контроль гляциальных селей в Казахстане. Алматы: Гылым, 1998. 102 с.
24. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Степанов Б.С., Аскарова М.А. Концепция проектируемого мониторинга селевой опасности в Иле Алатау // *Геориск*. 2018. № 3. С. 16–22.
- ly dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*. 2011, 59 (3): 1691–1714.
8. *Rukovodstvo po izucheniuyu selevykh potokov*. Guide to the study of mudflows. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1976: 144 p. [In Russian].
9. Palgov N.N. Catastrophic floods on the glacial rivers of Zailiysky Alatau. *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*. News of the All-Union Geographical Society. 1947, 79 (2): 175–187. [In Russian].
10. Tokmagambetov G.A., Sudakov P.A., Plekhanov P.A. Glacial mudflows of Trans-Ili Alatau and ways of their forecast. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1980, 39: 97–101. [In Russian].
11. Kavetskiy S.P., Smirnov I.P. Mudflows of non-rain origin. *Trudy KazNIGMI*. Proc. of KazNIGMI. 1957, 9: 43–52. [In Russian].
12. Cherkasov P.A. Mudflow in the Malaya Almatinka valley. *Izvestiya Akademii nauk Kazakhskoy SSR. Seriya geologii*. News of the Academia of Sciences of Kazakh SSR. Geology Series. 1953, 121 (16): 118–120. [In Russian].
13. Vinogradov Yu.B. *Glyatsialnye proryvnye pavoiki i seli*. Glacial outburst floods and mudflows. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977: 55 p. [In Russian].
14. Popov N.V. Glacial outburst mudflows and protection measures in the mountains of Northern Tien-Shan. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1987, 59: 189–195. [In Russian].
15. Kavetskiy S.P., Kalmynkina E.M. Mudflow at the Issyk river July 7 1963. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya geografiya*. News of Moscow State University. Series Geography. 1964, 2: 77–80. [In Russian].
16. Fleyshman S.M., Mossakovskaya I.A., Perov V.F. Almaty's mudflow July 15 1973. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya geografiya*. Bulletin of Moscow State University. Series Geography. 1974, 2: 35–39. [In Russian].
17. Vinogradov Yu.B., Khonin R.V., Zems A.E. Mudflow July 15 1973 on Malaya Almatinka. *Selevyeye potoki*. Mudflows. 1976, 1: 60–73. [In Russian].
18. Kirenskaya T.L., Stepanov B.S., Khonin R.V. Mudflow in the basin of the Bolshaya Almatinka river 19 August 1975. *Selevyeye potoki*. Mudflows. 1977, 2: 115–119. [In Russian].
19. Plekhanov P.A. Glacial mudflow 19 August 1975 in the basin of the Bolshaya Almatinka river. *Snezhnyye laviny i ledniki Kazakhstana*. Snow avalanches and glaciers of Kazakhstan. Alma-Ata: Nauka, 1977: 144–154. [In Russian].
20. Laptev V.I. Description of mudflow 3–4 August 1977 in the basins of the Kumbelsu and Bolshaya Almatinka rivers. *Selevyeye potoki*. Mudflows. 1990, 5: 55–59. [In Russian].
21. Walder J.S., Costa J. E. Outburst floods from glacier-dammed lakes: the effect of mode of lake drainage on flood magnitude. *Earth Surface Processes and Landforms*. 1996, 21: 701–723.
22. Hubbard B., Heald A., Reynolds J.M., Quincey D.J., Richardson S.D., Zapata M., Santillan N., Hambrey M.J. Impact of a rock avalanche on a moraine-dammed proglacial lake: Laguna Safuna Alta, Cordillera Blanca, Peru. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2005, 30: 1251–1264.
23. *Bezopasnost' i kontrol' glyatsialnykh seley v Kazakhstane*. Safety and control of glacial mudflows in Kazakhstan. Almaty: Gylym, 1998: 102 p. [In Russian].
24. Medeu A.R., Blagoveshchenskiy V.P., Ranova S.U., Stepanov B.S., Askarova M.A. Conception of designed mudflow danger monitoring in Ile Alatau. *Georisk*. 2018, 3: 16–22. [In Russian].