

О влиянии гляциологических и гидрометеорологических условий на гляциальную опасность Заилийского Алатау

© 2017 г. А.Р. Медеу¹, Т.Г. Токмагамбетов¹, А.Л. Кокарев^{1*}, Л.А. Ерисковская¹,
Т.Л. Киренская¹, П.А. Плеханов², Н.С. Плеханова²

¹Институт географии Министерства образования и науки Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;

²Главное управление «Казселезащита» Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

*kokarev60@mail.ru

Effects of glaciological and hydro-meteorological conditions on the glacial danger in Zailiyskiy Alatau

A.R. Medeu¹, T.G. Tokmagambetov¹, A.L. Kokarev^{1*}, L.A. Yeriskovskaya¹,
T.L. Kirenskaya¹, P.A. Plekhanov², N.S. Plekhanova²

¹Institute of Geography, Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan; ²State Agency «Kazselezashchita», Committee Emergency Situations of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

*kokarev60@mail.ru

Received May 14, 2016

Accepted January 12, 2017

Keywords: *climatic conditions, degradation of glaciation, glacial lakes, hazard of glacial lake outburst, mudflow activity.*

Summary

A need to estimate a hazard of a mudflow stream appearance in the glacial-nival zone of the Northern slope of Zailiyskiy Alatau (Kazakhstan) is now one of the really urgent problems. The objective of this study was to investigate influence of glacial and hydrometeorological factors on the condition of snow-glacial zone of Zailiyskiy Alatau and find out a mudflow-forming role of the mudflow centers arising due to climate warming and degradation of glaciation: periglacial lakes, intramontaine channels and reservoirs, and also talik massifs of morainic deposits. We analyzed glacial processes in the Zailiyskiy Alatau over a long period using meteorological data of the Almaty weather station and its close correlations with data from weather stations in the mountains. The area of glaciations was found out to be reduced after the maximum of the Little Ice Age. A combined diagram of occurrence of the mudflow manifestations and factors causing them had been constructed on the basis of statistical data on the landslide phenomena. Glacial mudflows were the most frequent in 1960–1990, and later on activity of them became weaker. We believe, that in the next 10–20 years, the glacial mudflow hazard in Zailiyskiy Alatau can sharply decrease, but at the same time, a probability of occurrence of the rainfall mudflows can increase in the mountainous zone of the ridge due the increase of areas with melted moraine and slope deposits.

Citation: Medeu A.R., Tokmagambetov T.G., Kokarev A.L., Yeriskovskaya L.A., Kirenskaya T.L., Plekhanov P.A., Plekhanova N.S. Effects of glaciological and hydro-meteorological conditions on the glacial danger in Zailiyskiy Alatau. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2017. 57 (2): 261–268. [In Russian]. doi:10.15356/2076-6734-2017-2-261-268.

Поступила 14 мая 2016 г.

Принята к печати 12 января 2017 г.

Ключевые слова: *деградация оледенения, климатические условия, ледниковые озёра, опасность прорыва озера, селевая активность.*

Для территории северного склона хр. Заилийский Алатау (Тянь-Шань) по натурным данным за 100-летний период исследованы изменения климата, характер деградации оледенения и динамика возникновения опасных гляциогидрологических явлений. Указанные явления опосредованно связаны с изменением климата и представляют собой следствие развития моренно-ледниковых комплексов до их опасного состояния при деградации оледенения. Такое состояние моренно-ледниковых комплексов было характерно для периода деградации оледенения в 1960–2000 гг., когда оно сократилось на 55–80% после максимума малого ледникового периода. В настоящее время опасность гляциальной зоны Заилийского Алатау находится на спаде.

Введение и постановка проблемы

Заилийский Алатау (Иле Алатау) — один из северных хребтов Тянь-Шаня, он простирается в форме дуги по 43° с.ш. в пределах 75–78° в.д.

на протяжении почти 280 км. Главный водораздел хребта на всём протяжении достигает высот 4000 м над ур. моря и более; здесь развито горное оледенение, которое в настоящее время деградирует. В 1960–90-х годах на северном склоне

хр. Заилийский Алатау неоднократно возникали мощные гляциальные сели, которые вызывали существенный материальный ущерб и даже приводили к жертвам местного населения [1, 2]. После почти 20-летнего относительного «затишья» в Заилийском Алатау из-за прорывов приледниковых озёр прошли два крупных гляциальных селя: 17 июля 2014 г. на р. Средний Талгар и 23 июля 2015 г. на р. Карагалинка. Последний вызвал разрушения на окраине г. Алматы и занёс полуметровым слоем грязи многие улицы и дворы города. Потребовалась даже эвакуация населения. Общий ущерб от этого селя с учётом стоимости работ по ликвидации его последствий составил не менее 50 млн долларов.

В связи с прохождением мощных гляциальных селей остро встал вопрос о реальной оценке селевой опасности нивально-гляциальной зоны северного склона Заилийского Алатау, в предгорьях которого расположены десятки населённых пунктов и крупнейший город страны — Алматы с общим числом жителей до 2,5 млн человек. Цель настоящей работы — исследовать влияние климатических и гидрометеорологических факторов на уровень гляциогидрологической опасности снежно-ледниковой зоны Заилийского Алатау.

Изменения климата

Климат района исследований — континентальный, умеренно тёплый. Средняя температура в предгорной зоне в январе $-8 \div +9$ °С, в июле 22–23 °С. Годовая сумма осадков составляет 600–650 мм (в высокогорье до 1000 мм и

более). Температурный режим и режим выпадения осадков имеют ярко выраженную высотную зональность [3]. Современное изменение климата чётко прослеживается в районе исследований. В предгорьях Заилийского Алатау расположена одна из самых долгопериодных метеорологических станций (ГМС) в Казахстане — ГМС Алматы (840 м над ур. моря; все высоты в статье даны над ур. моря), работающая с 1880 г. По данным этой станции, с 1913 г. по настоящее время зафиксирован рост температуры воздуха приблизительно на 2 °С и величины выпадающих атмосферных осадков более чем на 100 мм [4] (рис. 1).

Репрезентативность данных наблюдений на ГМС Алматы по отношению к климатическим условиям снежно-ледниковой зоны Заилийского Алатау оценена на основе совместного анализа её данных и данных по ГМС Мынжилки (3036 м, РГП «Казгидромет») и ГМС Туйыксу 1 (3440 м, Институт географии МОН РК) за совместный период наблюдений 1973–2014 гг. (рис. 2). Анализ совмещённых графиков на этом рисунке позволяет сделать некоторые выводы.

Во-первых, рост температуры воздуха по десятилетиям отмечается на всех пунктах наблюдений: на ГМС Мынжилки и Туйыксу — со скоростью 0,24–0,27 °С, на ГМС Алматы — 0,47 °С. Более интенсивное повышение температуры воздуха на ГМС Алматы может быть связано с антропогенным влиянием крупного города [5] на температурный режим в предгорьях, с одной стороны, и охлаждающим воздействием на этот режим в снежно-ледниковой зоне, с другой, или совместным одновременным воздействием обоих указанных факторов. Несмотря на это,

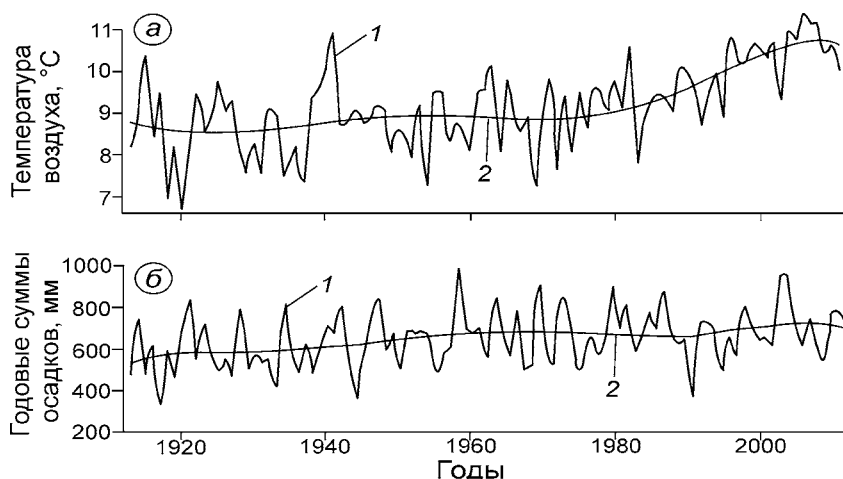


Рис. 1. Ход температуры воздуха (а) и величины годовой суммы осадков (б) по ГМС Алматы [4]:

1 — ежегодные значения; 2 — полином шестой степени

Fig. 1. Course of air temperature (а), and values of annual sum of precipitation (б), according to the meteorological station Almaty [4]:

1 — annual values; 2 — polynomial of sixth degree

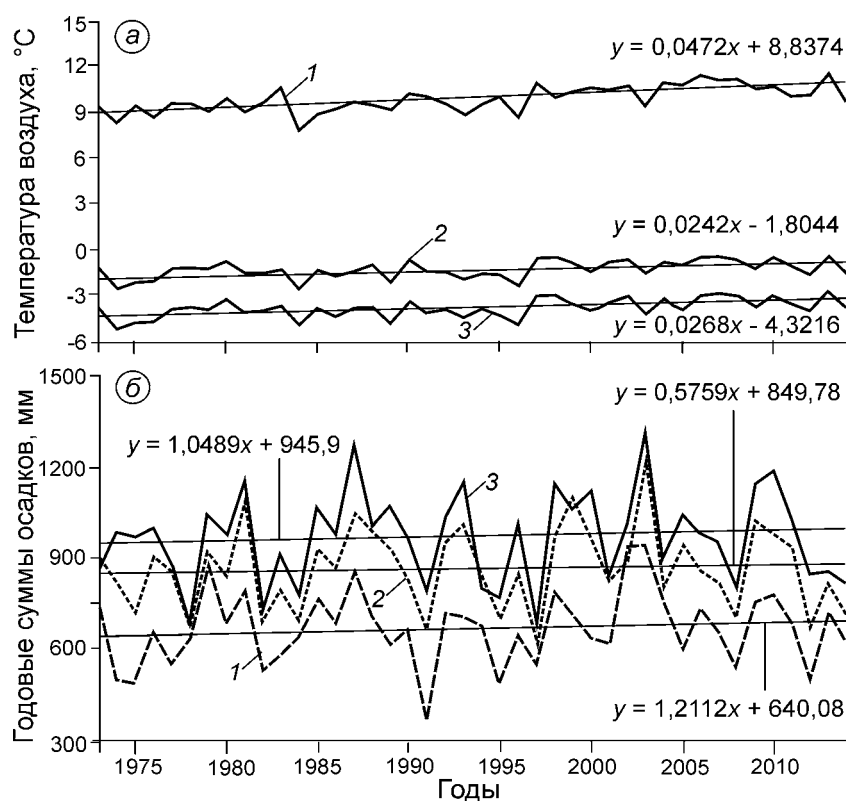


Рис. 2. Ход среднегодовой температуры воздуха (а) и величины годовых сумм осадков (б) по ГМС:

1 – Алматы; 2 – Мынжилки; 3 – Туйыксу

Fig. 2. Average annual air temperature (a) and annual sums of precipitation (b) by meteorological stations:

1 – Almaty; 2 – Mynzhilki; 3 – Tuysuksu

сохраняется чёткая синхронность многолетних колебаний температур воздуха по всем пунктам наблюдений, что объясняется пространственной близостью станций и расположением их на одном географическом меридиане.

Во-вторых, для всех ГМС характерен единый положительный тренд атмосферных осадков, а имеющиеся различия невелики и находятся в пределах точности их измерения и расчётов. Поэтому есть все основания полагать, что анализ зависимых от изменений климата гляциальных процессов в Заилийском Алатау даже для длительного периода можно объективно проводить на основе метеоданных по ГМС Алматы.

Механизмы возникновения опасных гляциогидрологических явлений

Ранее выполненные в Институте географии натурные исследования [6, 7] позволили установить, что опасные гляциогидрологические процессы (паводки, сели, оползни оттаявших моренных масс) не являются прямым следствием воздействия благоприятных гидрометеорологических условий или длительной «жаркой» погоды,

поскольку даже при идеальном сочетании гляциологических и гидрометеорологических параметров расходы талого ледникового стока никогда не превышают критических значений, способных вызвать процессы селеобразования в высокогорье. Непосредственными наблюдениями за ледниковым стоком у концов многих ледников с использованием самописцев уровня воды установлено, что максимальные мгновенные модули стока не превышали $1,0\text{--}1,2 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, а среднесуточные – $0,5 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ [6–8]. При подобных модулях стока даже самые крупные ледниковые бассейны не формируют в основных руслах паводки, способные вызвать процессы селеобразования практически при любом профиле рек. Также выявлено, что все зарегистрированные гляциальные сели возникали при импульсном режиме (пульсации стока, оползневые сходы) гляциальных селевых очагов, к которым относятся приледниковые озёра, таликовые массивы и внутриморенные каналы стока и ёмкости.

Гляциальные сели – это результат воздействия двух основных групп факторов: постоянно действующих и медленно изменяющихся, а также временно действующих и быстро изменяющихся. К первым отнесены климат и состояние

Таблица 1. Внутригодовое распределение гляциальных селей на северном склоне Заилийского Алатау в 1910–2014 гг.

Месяц	Декада			Итого/%
	I	II	III	
Апрель	0	0	1	1/0,7
Май	2	0	2	4/2,8
Июнь	4	6	7	17/12,1
Июль	15	31	24	70/49,7
Август	23	21	3	47/33,3
Сентябрь	2	0	0	2/1,4
Всего				141/100

условий подстилающей поверхности, ко вторым — текущие гидрометеорологические условия и случайные процессы: подвижки и обвалы ледников, оползни грунта, обрушения и закупорки внутриморенных каналов стока, землетрясения, антропогенные воздействия и др. [9]. При этом постоянно действующие факторы определяют возможность возникновения и развития гляциальных селевых очагов до критических состояний или же, напротив, их деградацию на различных временных этапах их существования. Временно действующие факторы вызывают непосредственные коллапсы селевых очагов.

Зависимость гляциальных селей в Заилийском Алатау от гидрометеорологических условий подтверждается сезонностью их проявления. Согласно данным табл. 1, на летний период приходится 95% опасных гляциогидрологических явлений (селей), в том числе на июнь — 12%, июль — 50% и август — 33%. В июле и августе, когда температуры воздуха в высокогорной зоне максимальны, здесь отмечаются самые мощные гляциальные сели.

Зависимость опасных гляциогидрологических явлений от гляциоклиматических факторов

Не вызывает сомнений, что современные проявления гляциальных селей в Заилийском Алатау обусловлены потеплением климата. Такое заключение подтверждают данные о возникновении и развитии приледниковых озёр — очевидного признака опасного состояния моренно-ледниковых комплексов. Б.С. Степанов с соавторами на основе изучения слоёв селевых и лёссовых отложений в Аксайском, Талгарском и

Узункаргалинском карьерах, расположенных на конусах выноса предгорной равнины Заилийского Алатау, а также естественных четвертичных обнажений в вершинах этих конусов пришли к выводу, что в фазах наступания ледников (рисское, вюрмское, малый ледниковый период) селевая деятельность и наличие в данном регионе прорывоопасных озёр не отмечались [10, 11]. Поэтому мы считаем, что современные гляциальные сели — это следствие потепления климата за последние сто лет с небольшим. Каков был режим опасных гляциогидрологических процессов в Заилийском Алатау до этого, остаётся только предполагать, так как данные прямых наблюдений отсутствуют.

Быстрое сокращение ледников Заилийского Алатау за последние 60–70 лет и неблагоприятные прогнозы, согласно которым оледенение уже в течение текущего столетия может сократиться в разы относительно современного или исчезнуть совсем, стали причиной пристального внимания к проблемам климатообусловленных изменений горной криосферы [12]. На северном склоне Заилийского Алатау в 2008 г. зарегистрирован 441 ледник с общей площадью открытой части 171,96 км², объёмом льда 6,898 км³, площадью морен 91,63 км² и объёмом погребённого льда 1,721 км³ [13]. Для сравнения, в Каталоге [14] по состоянию на 1955 г. зафиксировано 307 ледников с общей площадью открытой части 271,2 км² (по уточненным данным Е.Н. Вилесова [15] 287,3 км²) и объёмом льда 11,540 км³. На рис. 3, а по данным каталогизации ледников [13] показана динамика изменения площади открытой части ледников за 1955, 1974, 1978, 1990 и 2008 гг. Приведённая зависимость достаточно надёжно аппроксимируется прямой линией. За 53 года оледенение северного склона Заилийского Алатау уменьшилось на 116,65 км² (41%), площадь ледников сокращалась по 2,20 км² (0,8%) в год [13].

Изменение оледенения Заилийского Алатау с максимума малого ледникового периода до 1955 г. оценивается по изменению площади морен (стадии фернау и современные) и реконструкции оледенения для максимума малого ледникового периода. Такие исследования охватывают лишь некоторые ледниковые бассейны центральной части хребта [12, 16–18], поэтому они ориентировочны (см. рис. 3, б).

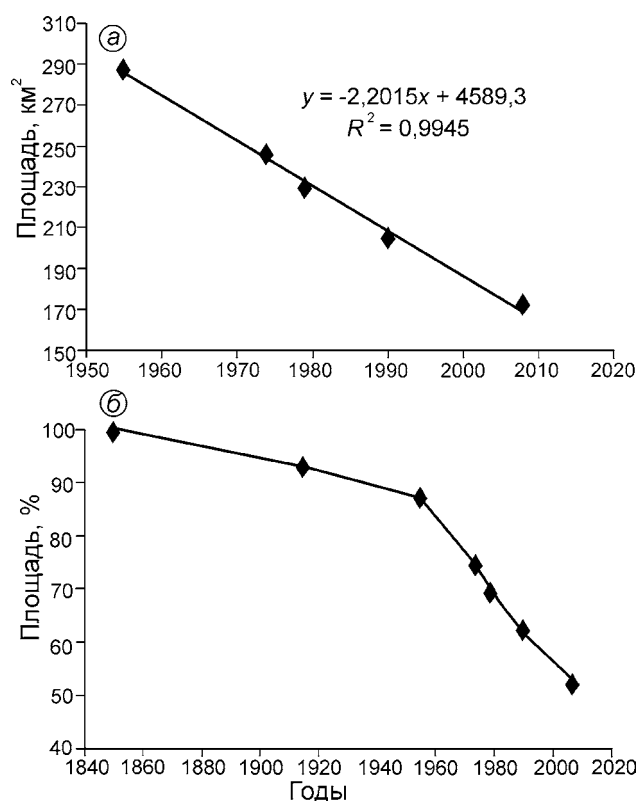


Рис. 3. Изменения площади открытой части ледников северного склона Заилийского Алатау за период с 1955 по 2008 г. (а) и с 1850 по 2008 г. (б)

Fig. 3. Dynamics of the area of an open part of glaciers on the northern slope of Zailiyskiy Alatau from 1955 to 2008 (a) and from 1850 to 2008 (b)

Имеющиеся статистические сведения о фактических проявлениях гляциальных селей (включая прорывы озёр) совместно с климатическими характеристиками (температура воздуха, атмосферные осадки) и данными о состоянии моренно-ледниковых комплексов за последнее столетие, представлены в табл. 2. Буквенными символами в таблице обозначена характеристика состояния моренно-ледниковых комплексов:

А — система оледенения находится в переходной фазе от стадии наступания к стадии деградации: фронтальные морены имеют выпуклые формы рельефа;

Б — деградации оледенения находится на начальной стадии: на фронтальных моренах, сохраняющих выпуклые формы, появляются небольшие отрицательные формы рельефа, заполняемые в тёплый период талой водой;

В — деградация оледенения находится в средней стадии: отмечается повсеместное протая-

вание морен, формирование внутриморенных каналов стока, возникновение и развитие озёр и отдельные их прорывы, морены приобретают бугристые формы рельефа;

Г — активная фаза деградации: ледники быстро отступают, на моренах образуются озёра и формируется подземная сеть стока, гляциальные сели очень активны, в центральной части фронтальных морен возникают дренажные ложбины;

Д — поздняя стадия деградации оледенения: многие долинные и каровые ледники отступают на склоны, морены в значительной степени протаивают, старые озёра исчезают, процесс образования новых озёр имеет локальный характер и их опасность снижается, активизируются незначительные оползневые процессы, прорывы гляциальных озёр происходят по внутриморенным каналам;

Е — финальная стадия деградации: оледенение имеет фрагментарный характер, на моренах практически не остаётся озёр, повышается вероятность возникновения селей и оползней дождевого генезиса.

По данным табл. 2 и сведениям об изменениях температуры воздуха на ГМС Алматы (см. рис. 1) построен совмещённый график частоты проявлений гляциальных селей (опасных гляциогидрологических явлений) и определяющих их факторов (рис. 4). Анализ этого графика, а также предположения, что в гляциальной зоне Заилийского Алатау в ближайшие десятилетия сохранятся тенденции происходящих природных процессов, позволяют сделать некоторые заключения.

Первые проявления гляциальных селей в Заилийском Алатау отмечали в конце 1920-х — начале 1930-х годов, т.е. спустя 70–80 лет после завершения малого ледникового периода на севере Тянь-Шаня. Максимальная их повторяемость — от 20 до 40 случаев в десятилетие — наблюдалась в 1960–2000 гг. К этому периоду площадь оледенения составляла лишь 55–80% площади ледников в середине XIX в. Частота гляциальных селей не имеет прямой связи с климатическими параметрами, а является следствием опосредованного влияния климата на состояние поверхности рельефа, в частности на комплекс рыхлообломочного материала.

В настоящее время активность проявления гляциальных селей в Заилийском Алатау нахо-

Таблица 2. Статистика опасных гляциогидрологических явлений на северном склоне Заилийского Алатау с характеристикой условий их возникновения за последний столетний период*

Периоды, годы	Число гляциальных селей	Число озёр в гляциальной зоне/прорывы озёр	Площадь оледенения, в % от максимума малого ледникового периода	Характеристика состояния моренно-ледниковых комплексов (А–Е) (см. пояснения в тексте)	Среднегодовая температура воздуха, °С / среднегодовое количество осадков, мм, по данным метеорологических станций		
					Алматы	Мынжилки	Туйыксу
1911–1920	0	—	93(1915 г.)	А	8,5/541	—	—
1921–1930	1	—	—	Б	8,7/594	—	—
1931–1940	2	—	—	Б	8,5/567	–2,1	—
1941–1950	6	—	—	В	9,1/617	–2,3	—
1951–1960	12	–/2	87(1955 г.)	В	8,5/660	–2,2	—
1961–1970	23	10/6	—	ВГ	9,0/657	–2,2	—
1971–1980	40	41/17	74(1974 г.) 69(1979 г.)	Г	9,1/646	–1,7/826	–4,1/930
1981–1990	26	56/3	62(1990 г.)	Г	9,4/682	–1,4/883	–4,0/993
1991–2000	23	60/2	—	ГД	9,8/626	–1,3/865	–3,8/956
2001–2010	6	30/0	52(2008 г.)	Д	10,7/726	–0,8/900	–3,3/1018
2011–2015	2	12/2	—	Д	10,4/631	–1,0/780	–3,4/903
После 2030 (ожидаение)	?	?/?	20–30	Е	?	?	?

*Прочерк в таблице – нет сведений.

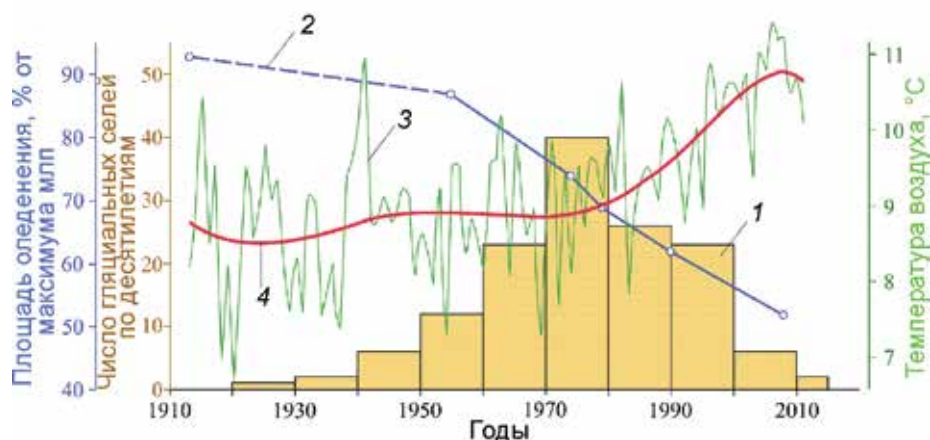


Рис. 4. Совмещённый график хода частоты гляциальных селей и определяющих факторов:

1 – количество гляциальных селей по десятилетиям; 2 – площадь оледенения (в % от максимума малого ледникового периода); 3 – средние годовые температуры воздуха по ГМС Алматы [4]; 4 – ход температуры воздуха по ГМС Алматы, полином шестой степени [4]

Fig. 4. Combined diagram of glacial mudflow frequency and determined factors:

1 – number of glacial mudflows by decades; 2 – area of glaciation (per cent from maximum of the Little Ice Age); 3 – average annual air temperatures according to meteorological station Almaty [4]; 4 – course of air temperature according to meteorological station Almaty, polynomial of sixth degree, °C, according to [4]

дится на спад. Тем не менее, на фоне продолжающейся деградации оледенения опасные явления ледниковой зоны сохраняется в основном на сильно забронированных моренно-ледниковых комплексах, где в будущем возможны возникновение и развитие новых очагов селевой

опасности. В ближайшие 10–20 лет гляциальная селевая опасность в Заилийском Алатау будет уменьшаться, но возрастёт опасность возникновения ливневых селей в высокогорной зоне хребта из-за увеличения площадей с оттаявшими моренными и склоновыми отложениями.

Выводы

При потеплении климата усиливается опасное состояние моренно-ледниковых комплексов в активных и вероятных очагах селеобразования. В тёплый период года при особенно благоприятных гидрометеорологических условиях опасность ледниковой зоны Заилийского Алатау резко возрастает. Очаги селеобразования, находящиеся в критическом состоянии, становятся источником опасных гляциогидрологических явлений. Вместе с тем опасное состояние моренно-ледниковых комплексов — явление временное. В Заилийском Алатау подобное обострение схода селей было характерно для периода 1960—2000 гг., когда площадь ледников сократилась до 55—80% максимума малого ледникового периода. В настоящее время опасность гляциальной зоны Заилийского Алатау находится на спаде, что не исключает возможности возникновения здесь крупных гляциальных селей. Поэтому необходим постоянный мониторинг гляциальной зоны Заилийского Алатау для выявления новых и оценки состояния старых очагов селеобразования.

Литература

1. Баймолдаев Т.А., Виноходов В.Н. Казселезащита — оперативные меры до и после стихии. Алматы: изд. Бастау, 2007. 284 с.
2. Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Основы управления: Т. 1. Алматы: изд. Print-S, 2011. 284 с.
3. Национальный Атлас Республики Казахстан. Т. 1: Природные условия и ресурсы. Алматы: изд. Казгеодезия, 2010. 150 с.
4. Чередниченко Александр В., Чередниченко Алексей В., Чередниченко В.С. Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ. Алматы: изд. Мега Принт, 2013. 367 с.
5. Котляков В.М., Северский И.В. Ледники Центральной Азии: современное состояние, изменения, возможное влияние на водные ресурсы // Снежно-ледовые и водные ресурсы высоких гор Азии: Материалы междунар. семинара «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии», 28—30 октября 2006 г. Алматы: Типография Комплекс, 2007. С. 244—250.
6. Токмагамбетов Г.А., Судаков П.А., Плеханов П.А., Голубович В.А. Режим стока талых вод на моренах и водорегулирующая способность моренных отложений // Вестн. АН КазССР. 1978. № 10. С. 60—68.
7. Хоменюк Ю.В., Плеханов П.А., Токмагамбетов Г.А., Максимов А.Б. Фоновый прогноз гляциальных селей. Алма-Ата: Наука, 1985. 64 с.
8. Плеханов П.А., Джампеисов Т.О. Режим стока в нивально-гляциальном поясе Заилийского Алатау // Итоги и перспективы физико-географических исследований в Киргизии. Фрунзе: Илим, 1988. С. 20—22.
9. Плеханов П.А. Гляциальные сели Заилийского Алатау и возможности их прогноза: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Ташкентский гос. ун-т. Ташкент, 1984. 22 с.

Reference

1. Baimoldayev T.A., Vinokhodov V.N. Kazselezashchita — operativnyye mery do i posle stikhii. Kazselezashchita — operative measures before and after element. Almaty: Bastau, 2007: 284 p. [In Russian].
2. Medeu A.R. Selevyye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana. Osnovy upravleniya: T. 1. Mudflow events of South-East Kazakhstan. Bases of management. V. 1. Almaty: Print-S, 2011: 284 p. [In Russian].
3. Natsionalnyi Atlas Respubliki Kazakhstan: Tom 1: Prirodnyye usloviya i resursy. National Atlas of the Republic of Kazakhstan: V. 1: Natural conditions and resources. Almaty: Kazgeodeziya, 2010: 150 p. [In Russian].
4. Cherednichenko Alexandr V., Cherednichenko Alexey V., Cherednichenko V.S. Vremennyye ryady temperatur i osadkov. Statisticheskiy analiz. Time series of temperatures and precipitation. Statistical analysis. Almaty: Mega Print, 2013: 367 p. [In Russian].
5. Kotlyakov V.M., Severskiy I.V. Ledniki Tsentralnoy Azii: sovremennoye sostoyaniye, izmeneniya, vozmoznoye vliyaniye na vodnye resursy. Materialy Mezhdunarodnogo Seminara. Ocenka snezhno-ledovykh i vodnykh resursov Azii. Glaciers of Central Asia: current situation, changes and possible impact on water resources. Assessment of snow, glacier and water resources in Asia. Selected papers from the Workshop in Almaty, 28—30 October 2006. Almaty: Kompleks, 2007: 244—250. [In Russian].
6. Tokmagambetov G.A., Sudakov P.A., Golubovich V.A. Mode of melting waters of moraines and water-regulated ability of moraine deposits. Vestnik AN KazSSR. Gerald of KazSSR Academy of Sciences. 1978, 10: 60—68. [In Russian].
7. Khomenyuk Yu.V., Plekhanov P.A., Tokmagambetov G.A., Maksimov A.B. Fonoviy prognoz glyatsialnykh seley. General forecast of glacial mudflows. Alma-Ata: Nauka, 1985: 64 p. [In Russian].
8. Plekhanov P.A., Dzhampeisov T.O. Mode of runoff in nival-glacial zone of Zailiyskiy Alatau. Itogi I perspektivy fiziko-geograficheskikh issledovaniy v Kirgizii. Results and prospective of physical-geographical researches in Kirgizstan. Frunze: Ilim, 1988: 20—22. [In Russian].
9. Plekhanov P.A. Glyatsial'nye seli Zailiyskogo Alatau i vozmozhnosti ikh prognoza. Glacial debris flows of Trans-Ili

10. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. О масштабах оледенения Заилийского Алатау в верхнем плейстоцене // Гидрометеорология и экология. 1999. № 3. С. 127–133.
11. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. К формированию рельефа северного склона Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. 2002. № 2. С. 100–113.
12. 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.
13. 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.
14. Вилесов Е.Н., Хонин Р.В. Каталог ледников СССР. Т. 13. Центр. и Южный Казахстан. Вып. 2. Ч. 1. Бассейны левых притоков р. Или от устья р. Курты до устья р. Тургеня. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 78 с.
15. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. Алматы: изд. Казак Университеті, 2001. 252 с.
16. Благовещенский В.П., Кокарев А.Л., Уваров В.Н., Касаткин Н.Е. Гляциологические исследования на леднике Богдановича // Вопросы географии и геоэкологии. 2011. № 3. С. 23–30.
17. Baume O. Spätpleistozäne bis holozäne Gletscherschwankungen ausgewählter Gebiete im Kaukasus, Tien Schan und Altai. Ein Beitrag zur vergleichenden Hochgebirgsforschung // Münchener Geographische Abhandlungen. 2002. A 52. S. 45–80.
18. Bolch T. GIS- und fernerkundungsgestützte Analyse und Visualisierung von Klima- und Gletscheränderungen im nördlichen Tien Shan (Kasachstan/Kyrgyzstan) mit einem Vergleich zur Bernina-Gruppe/Alpen. Erlangen, 2006. 210 S.
- Alatau and possibilities of their forecast. PhThesis. Tashkent, Tashkent State University, 1984. 22 p. [In Russian].
10. Stepanov B.S., Khaidarov A.Kh. Yafyazova R.K. On scale of glaciation of Zailiyskiy Alatau in upper Pleistocene. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. Hydrometeorology and ecology. 1999, 3: 127–133. [In Russian].
11. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. To the formation of relief on northern slope of Zailiyskiy Alatau. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. Hydrometeorology and ecology. 2002, 2: 100–113. [In Russian].
12. 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, 57 (71): 382–394. doi: 10.3189/2016AoG71A575.
13. Kokarev A.L., Shesterova I.N. Change of the glacier systems on the northern slope of Zailiyskiy Alatau for the second half of XX and the beginning of XXI centuries. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2011, 4 (116): 39–46. [In Russian].
14. Vilesov E.N., Khonin R.V. *Katalog lednikov SSSR. T. 13. Centralnyi i Uzhnyi Kazakhstan. Vypusk 2. Basseyn ozera Balkhash. Chast' 1.* USSR Glaciers inventory. V. 13. Central and Southern Kazakhstan. Issue 2. Balkhash lake Basin. Pt. 1. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1967: 78 p. [In Russian].
15. Vilesov E.N., Uvarov V.N. *Evolutsiya sovremennogo oledeneniya Zailiyskogo Alatau v XX veke*. The evolution of present-day glaciation of Zailiyskiy Alatau in XX century. Almaty: Kazakhstan State University, 2001: 252 p. [In Russian].
16. Blagoveshchenskiy V.P., Kokarev A.L., Uvarov V.N., Kasatkin N.Ye. Glaciological researches of Bogdanovich Glacier. *Voprosy geografii i geoekologii*. Problems of geography and geoecology. 2011, 3: 23–30. [In Russian].
17. Baume O. Spätpleistozäne bis holozäne Gletscherschwankungen ausgewählter Gebiete im Kaukasus, Tienschan und Altai. Ein Beitrag zur vergleichenden Hochgebirgsforschung. *Münchener Geographische Abhandlungen*. 2002, A 52: 45–80.
18. Bolch T. GIS- und fernerkundungsgestützte Analyse und Visualisierung von Klima- und Gletscheränderungen im nördlichen Tien Shan (Kasachstan/Kyrgyzstan) mit einem Vergleich zur Bernina-Gruppe/Alpen. Erlangen, 2006: 210 p.