

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 7th International Conference

Chengdu, China, 23–27 September 2024



Edited by
S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2024

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
7-й Международной конференции

Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева

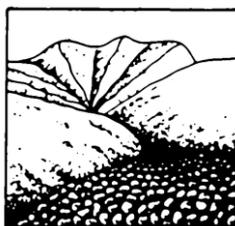
ООО «Геомаркетинг»
Москва
2024

泥石流： 灾害、风险、预测、防治

會議記錄

第七届国际会议

中国成都, 2024年9月23日至27日



編輯者

S.S. Chernomorets, K. Hu, K. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC

莫斯科

2024

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). – Ed. by S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. 622 p.

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. 622 с.

泥石流：灾害、风险、预测、防治。 會議記錄 第七届国际会议. 中国成都。 編輯者 S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – 莫斯科: Geomarketing LLC. 622 p.

ISBN 978-5-6050369-6-8

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), К. Ху (Институт горных опасностей и окружающей среды Китайской академии наук), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (Lomonosov Moscow State University), K. Hu (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS), K.S. Viskhadzhieva (Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

© Селевая ассоциация

© Debris Flow Association



Межгодовая и внутригодовая изменчивость селевой активности в горах Иле Алатау

В.П. Благовещенский, А.Р. Медеу, Т.С. Гуляева, С.У. Ранова, Т.Л. Киренская

*АО «Институт географии и водной безопасности» Министерства науки
и высшего образования, Алматы, Казахстан, victor.blagov@mail.ru*

Аннотация. Исследована межгодовая и внутригодовая изменчивость селевой активности в хребте Иле Алатау, расположенном на юго-востоке Казахстана. В качестве показателей селевой активности использовались количество селей и суммарный объем селей. Исследовалась изменчивость активности отдельно для дождевых и гляциальных селей. Использовались данные о селях с 1900 по 2023 г. За этот период в Иле Алатау зафиксировано 30 дождевых и 30 гляциальных селей. Среди гляциальных селей 20 были вызваны прорывами ледниковых озер. Максимальные объемы селей в Иле Алатау достигают нескольких млн м³. Селевые катастрофы, вызванные дождевыми селями, отмечались в 1921, 1947, 1950, 1989, 1999, 2002, 2006 г. Катастрофические прорывные гляциальные сели сходили в 1956, 1958, 1963, 1973, 1977, 1980, 1993, 2014, 2015 г. Разрушительная способность селей в значительной мере зависит от его объема. На долю мелких и средних селей приходится 80,1 % количества селей и 3,0% суммарного объема. Очень крупные и огромные сели составляют 19,1% количества селей, но на их долю приходится 97% суммарного объема. Количество селей и их суммарный объем очень сильно колеблется от года к году. Максимальное количество селей в год составило 11, максимальный суммарный объем селей в год составил 6200 тыс. м³. Для гляциальных селей отмечен период повышенной селевой активности в 1960–1980 гг. Для дождевых селей статистически значимого многолетнего тренда не установлено. В течение года дождевые сели отмечаются с мая по август. Максимум активности дождевых селей приходится на июнь-июль. Гляциальные сели формируются с июля по сентябрь, с максимумом активности в июле-августе.

Ключевые слова: сели, селевая активность, межгодовая изменчивость, Иле Алатау

Ссылка для цитирования: Благовещенский В.П., Медеу А.Р., Гуляева Т.С., Ранова С.У., Киренская Т.Л. Межгодовая и внутригодовая изменчивость селевой активности в горах Иле Алатау. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024, с. 60–67.

Interannual and intraannual variability of debris flow activity in the Ile Alatau Mountains

V.P. Blagoveshchensky, A.R. Medeu, T.S. Gulyaeva, S.U. Ranova, T.L. Kirenskaya

*JSC “Institute of Geography and Water Security” of the Ministry of Science and Higher
Education, Almaty, Kazakhstan, victor.blagov@mail.ru*

Abstract. The interannual and intraannual variability of debris flow activity in the Ile Alatau ridge located in the southeast of Kazakhstan was studied. The number of debris flows and the total volume of debris flows were used as indicators of debris flow activity. Activity variability was studied separately for rain and glacial debris flows. Data on debris flows from 1900 to 2023 were used. During this period, 30 rain and 30 glacial debris flows were recorded in Ile Alatau. Among glacial debris flows, the 20 were caused by outbursts of glacial lakes. The maximum volumes of debris flows in Ile Alatau reach several million cubic meters. meters. Debris flow disasters caused by rain debris flows were observed in 1921, 1947, 1950, 1989, 1999, 2002, 2006. Catastrophic breakthrough glacial debris flows



occurred in 1956, 1958, 1963, 1973, 1977, 1980, 1993, 2014, 2015. The destructive ability of debris flows largely depends on its volume. The share of small and medium debris flows accounts for 80% of the number of debris flows and 3% of the total volume. The number of debris flows and their total volume variable greatly from year to year. The maximum number of debris flows per year was 11, the maximum of the total annual volumes of debris flows was of 6200 thousand m³. For glacial debris flows, a period of increased debris flow activity was noted in 1960–1980. For rain debris flows, no statistically significant long-term trend has been established. During the year, rain debris flows occur from May to August. The maximum activity of rain debris flows occurs in June-July. Glacial debris flows form from July to September, with maximum activity in July-August.

Key words: *debris flows, debris flow activity, interannual variability, Ile Alatau*

Cite this article: Blagoveshchensky V.P., Medeu A.R., Gulyaeva T.S., Ranova S.U., Kirenskaya T.L. Interannual and intraannual variability of debris flow activity in the Ile Alatau Mountains. In: Chernomoretz S.S., Hu K., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 60–67.

Введение

Горный хребет Иле (Заилийский) Алатау расположен в юго-восточной части Республики Казахстан. Он является самым северным хребтом Северного Тянь-Шаня, протягиваясь на расстояние 120 км вдоль 43° С.Ш. Хребет отличается очень сильной селевой активностью, что в сочетании с высокой степенью освоенности района обуславливает частую повторяемость селевых катастроф. Поэтому изучение межгодовой и внутригодовой изменчивости, а также долговременной тенденции селевой активности имеет как научное, так и практическое значение.

От степени селевой активности зависят селевая опасность и селевой риск. Поэтому их оценка всегда начинается с изучения селевой активности. Селевая активность может быть охарактеризована количеством селей и их объемом, происшедших на определенной территории за определенное время.

Вопросы изменчивости селевой активности за длительный период времени рассматривались в работах [Кюль и др., 2021, Bolch et al., 2011, Gartner et al., 2002, Pasmore et al., 2008, VanDine et al., 2002, Stoffel et al., 2005].

Данные о селевой деятельности в Иле Алатау и о параметрах селевых потоков приведены в работах [Баймолдаев, Винходов, 2007, Бекенов, Касенов, 2023, Виноградов и др., 1976, Горбунов, Северский, 2001, Дуйсенов, 1971, Женжурист, 1923, Керемкулов и др., 1988, Медеу, 2011, Медеу и др., 2016, Медеуов и др., 1993, Яфязова, 2007].

Методы

При исследовании селевой активности с практической точки зрения нас в первую очередь интересует разрушительная способность селей, которая зависит от их объема. Поэтому объем селей является в сочетании с частотой схода являющимися главными показателями селевой активности. Если констатация факта схода селя обычно не вызывает затруднений, то определение его объема представляет большую проблему. Как правило в описаниях селей приводятся данные об объеме отложенной селевой массы, которые получают геодезическими методами. Из-за большой трудоемкости инструментальные измерения объема селей производились только для отдельных очень крупных селей с объемами более 1 млн м³. Точность таких измерений была не велика. В результате данные об объемах селей, приводимые в разных источниках, могут различаться более чем в 2 раза. Таким образом, приблизительность оценки объемов селей приходится принимать, как форс-мажор.

В большинстве случаев объемы селей оценивались визуально, исходя из опыта наблюдателя. Поэтому при обобщении многолетних данных о селях в Иле Алатау,



полученных в разное время разными авторами, приведенных в работе [Медеу и др., 2016], все сели по объемам разделялись на 4 категории: очень мелкие (селепроявления), мелкие, средние, крупные. Этот подход был использован и в данной работе. При этом была добавлена еще одна категория – очень крупных селей. Градации объемов и максимальных расходов селей различных категорий приведены в таблице 1.

Таблица 1. Количественные характеристики селей различных категорий

Категория		Количественная характеристика			
Номер	Название	Объем, тыс. м ³	Максимальный расход, м ³ /с	Максимальная высота валов, м	Длина пути
1	мелкие	Менее 1	Менее 10	Менее 1	Сотни метров
2	средние	1–10	10–100	1–2	До 1 км
3	крупные	10–100	100–1000	2–5	До 10 км
4	очень крупные	100–1000	1000–10000	5–10	Более 10 км
5	огромные	Больше 1 млн	Более 10000	Более 10	Десятки км

Так как по большинству селей, за исключением особенно крупных, количественных данных об объемах нет, суммарный объем селей оценивался в виде индекса, который рассчитывался как десятичный логарифм суммарного объема селей в м³. При расчетах суммарного объема селей средний объем селя 1-й категории принимался равным 300 м³, 2-й – 3000 м³, 3-й – 30 000 м³, 4-й – 300 000 м³ и 5-й – 3 000 000 м³. Такое значение среднего значения объема селей выбрано ввиду логарифмического закона распределения селей по категориям размеров. Для селей, по которым есть данные об объемах, величины объемов учитывались в натуральном измерении.

Селевые явления в Иле Алатау довольно разнообразны по генезису. Они могут быть дождевые, гляциальные, снеготаяния, сейсмогенные и антропогенные.

Как по количеству, так и по суммарным объемам более 95 % составляют дождевые и гляциальные сели. Они вносят максимальный вклад в селевую опасность и селевую активность. За период с 1921 по 2023 г. зафиксировано 568 селей с суммарным объемом 38 271 тыс. м³. По количеству преобладают дождевые сели. Они составляют 80 % от общего количества селей. Но по суммарным и средним объемам преобладают гляциальные сели. Их суммарный объем составляет 70% общего объема селей. Средний объем дождевых селей равен 25 тыс. м³, а средний объем гляциальных селей – 237 тыс. м³, почти в 10 раз больше. Если с 1921 по 2023 г. отмечен только один дождевой сел с объемом больше 1 млн м³, то среди гляциальных селей таких огромных селей было 7 (1956, 1958, 1963, 1973, 1977, 1980, 1993 гг.).

Распределения количества и суммарного объема этих селей по категориям приведено в таблице 2. Все распределения имеют резкую асимметрию, при этом распределения количества селей имеют положительную асимметрию, а распределения суммарных объемов – отрицательную. У дождевых селей сели объемом меньше 10 тыс. м³ составляют 81,5% общего количества селей, а их суммарный объем – 8,4% от общего суммарного объема. Для гляциальных селей сели объемом меньше 10 тыс. м³ составляют 74,3% общего количества селей, а их суммарный объем – 0,073% от общего суммарного объема.

Сели снеготаяния составляют незначительную часть как по количеству, так и по объему. Они отмечаются в марте и начале апреля. Сейсмогенные сели сходят при сильных землетрясениях интенсивностью 9–10 баллов, которые случаются очень редко, и не имеют сезонного предпочтения. Также довольно редки и антропогенные сели, но, поскольку они часто бывают связаны с прорывами искусственных водоемов, то чаще всего они происходят в конце весны во время интенсивного снеготаяния.

Имеющиеся данные позволяют исследовать изменчивость активности только дождевых и гляциальных селей только за последние 72 года, с 1951 по 2023 г. На



формирование этих селей воздействуют совершенно различные факторы. Дождевые сели формируются под влиянием сильных осадков в низкогорной и среднегорной зонах, а гляциальные сели формируются под влиянием высоких температур воздуха в высокогорной зоне. Поэтому изменчивость активности дождевых и гляциальных селей рассматривалась отдельно.

Таблица 2. Распределение количества и суммарного объема дождевых и гляциальных селей по категориям размера

Генезис селя			Категория размера селя					Всего
			мел- кие	сред- ние	круп- ные	очень круп- ные	огром- ные	
Дождевые	количество	число	58	313	61	22	1	455
		доля, %	12,7	68,8	13,4	4,8	0,2	100
	суммарный объем, тыс. м ³	число	17	939	1830	6600	2100	11 486
		доля, %	0,2	8,2	15,9	57,5	18,3	100
Гляциальные	количество	число	25	59	20	2	7	113
		доля, %	22,1	52,2	17,7	1,8	6,2	–
	суммарный объем, тыс. м ³	число	8	177	600	600	25 400	26 785
		доля, %	0,03	0,7	2,2	2,2	94,8	100
Все сели	количество	число	83	372	81	24	8	568
		доля, %	14,6	65,5	14,3	4,2	1,4	–
	суммарный объем, тыс. м ³	число	25	1116	2430	7200	27 500	38 271
		доля, %	0,1	2,9	6,3	18,8	71,9	100

Распределение селевой активности дождевых и гляциальных селей внутри сезона показано на рис. 1–4.

Повторяемость и масштабность селей в течение года меняются в зависимости от изменений главных селеформирующих факторов. Первые дождевые сели сходят в начале мая, а последние – в начале августа. Гляциальные сели сходят с до конца августа. В годовом ходе активности дождевых селей отмечается два максимума. Первый из них приходится на вторую декаду мая, а второй, более сильный, – на первую декаду июля. Это связано с годовым ходом осадков.

Формирование гляциальных селей происходит в период с первой декады июня по третью декаду августа. Наибольшее количество гляциальных селей отмечено во вторую декаду июля и в первую декаду августа, а наибольшие суммарные объемы – на первую декаду июля и первую декаду августа. В это время в гляциальной зоне отмечаются максимальные температуры воздуха, обуславливающие максимальное таяние ледников, наполнение моренных озер и протаивание льдосодержащих озерных плотин. В апреле-мае происходит сход селей весеннего снеготаяния, связанный с таянием снежного покрова и прорывом снежных плотин, образованных лавинными снежниками. Однако, такие случаи довольно редки, а объемы селей при этом не велики (в основном 1, максимум 2 категории).

Закономерности сезонного распределения селевой активности имеют значение для пространственно-временных прогнозов селевой опасности. Очаги формирования дождевых селей наиболее широко распространены в Иле Алатау. Они встречаются во всех горных речных бассейнах на высотах от 1000 до 3400 м н.у.м. Количество очагов



гляциальных селей гораздо меньше. Они приурочены к ледниковым озерам, подпруженным молодыми моренами с ледяным ядром. При этом с течением времени они могут исчезать или появляться в процессе перестройки ледниково-моренных комплексов в связи с климатическими изменениями. Распространены они только в бассейнах рек, имеющих крупные долинные ледники (от Узын Каргалы на западе, до Турген на востоке Иле Алатау). Расположены они в зоне выше 3400 м н.у.м.

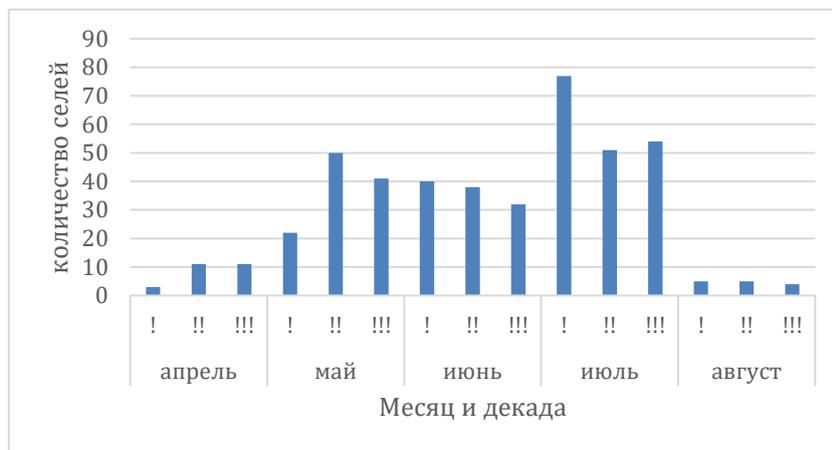


Рис. 1. Внутригодовая изменчивость количества дождевых селей

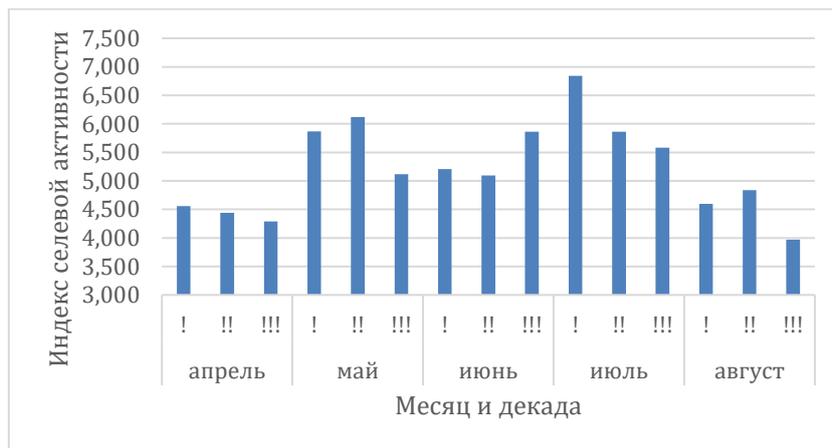


Рис. 2. Внутригодовая изменчивость активности дождевых селей

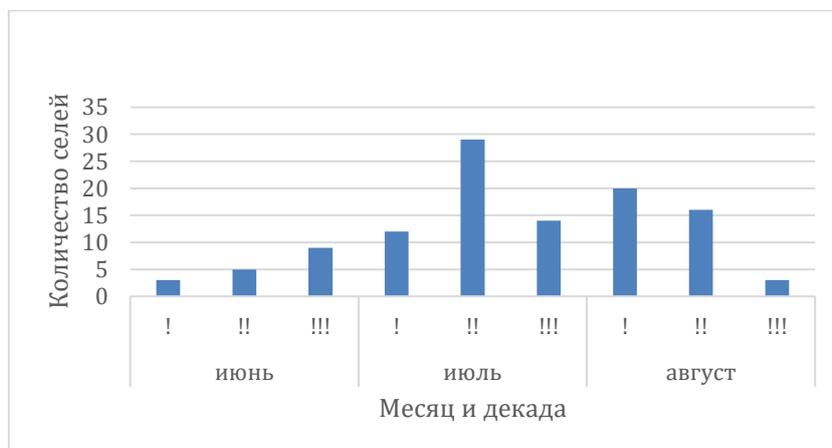


Рис. 3. Внутригодовая изменчивость количества гляциальных селей

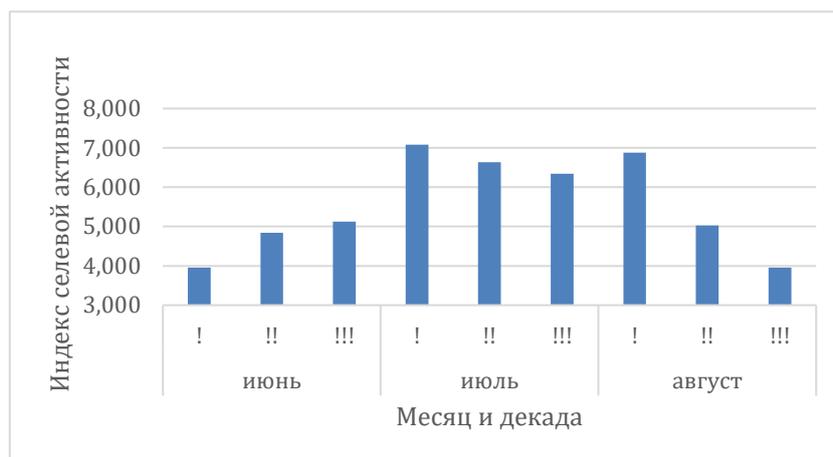


Рис. 4. Внутригодовая изменчивость активности гляциальных селей

За период систематических наблюдений с 1950-х по 2023 г. в Иле Алатау было 12 лет, когда не было ни одного дождевого селя, и 33 года, когда не было гляциальных селей, и только 4 года, когда не было ни дождевых, ни гляциальных селей. Характер межгодовой изменчивости активности дождевых и гляциальных значительно различается (таблица 3, рис. 5, 6). При этом, как для дождевых, так и для гляциальных селей межгодовые различия очень велики. Были годы, когда количество дождевых селей составляло 24, а индекс селевой активности был равен 5,6 (1988 г.), Коэффициент межгодовой вариации, равный отношению стандартного отклонения к среднему многолетнему значению равен 1,1 для количества селей и 0,48 – для индекса селевой активности. Для гляциальных селей годовое количество селей за год достигает 11, а индекс селевой активности – 6,79 (1973 г.). Экстремальные годы селевой активности для дождевых и гляциальных селей не совпадают. Коэффициент вариации количества гляциальных селей составляет 1,56, а для суммарных объемов он равен 0,99.

Таблица 3. Межгодовая изменчивость активности дождевых и гляциальных селей

Генезис селей		Максимальное	Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Коэффициент линейного тренда	Достоверность аппроксимации тренда
Дождевые	количество	24	5,2	5,9	1,1	0,026	0,0087
	суммарный объем, тыс. м ³	420	36,4	74,1	2,04	-	-
	индекс селевой активности	5,62	3,46	1,67	0,48	-0,0003	0,00005
Гляциаль-ные	количество	11	1,4	2,2	1,6	-0,020	0,037
	суммарный объем, тыс. м ³	6200	364	1208	3,31	-	-
	индекс селевой активности	6,79	2,46	2,43	0,99	-0,032	0,078



Генезис селей		Максимальное	Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Коэффициент линейного тренда	Достоверность аппроксимации тренда
Все сели	количество	24	6,6	6,1	0,92	-0,020	0,037
	суммарный объем, тыс. м ³	6200	400	1204	3,0	-	-
	индекс селевой активности	6,79	4,32	1,38	0,32	-0,025	0,143

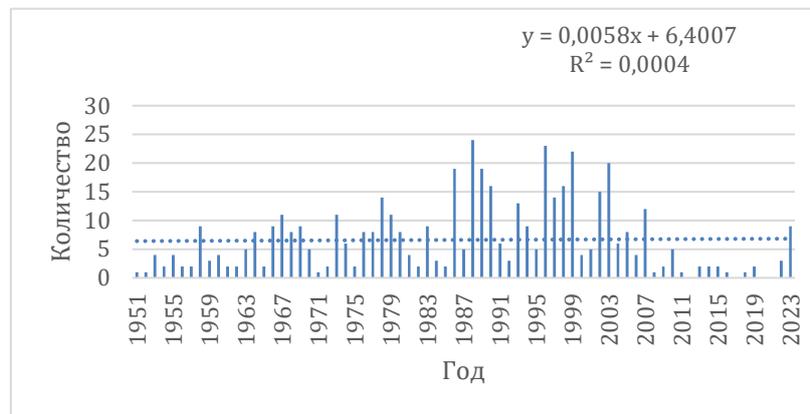


Рис. 5. Межгодовая изменчивость количества селей

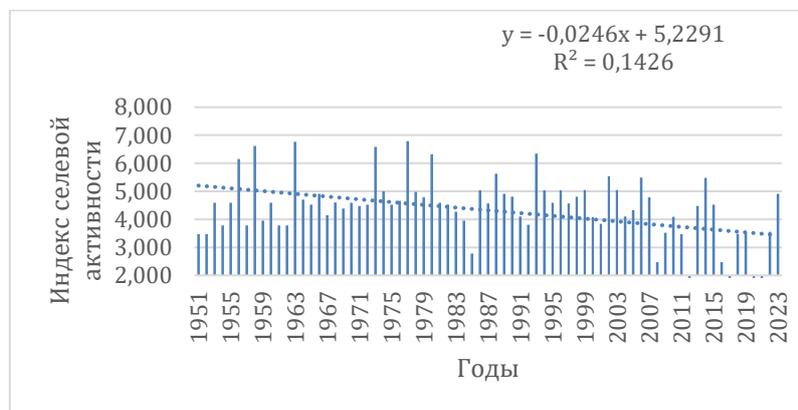


Рис. 6. Межгодовая изменчивость индекса селевой активности

В многолетнем ходе активности дождевых селей как для количества, так и для суммарного объема статистически значимых трендов не выявлено. Слабый отрицательный линейный тренд с коэффициентом аппроксимации 0,037 установлен для количества гляциальных селей. Более выражен отрицательный тренд у индекса селевой активности гляциальных селей. Его коэффициент аппроксимации равен 0,078. Уменьшение количества и суммарного объема гляциальных селей после 1980 г. частично можно объяснить успешным проведением профилактических опорожнений прорывоопасных моренных озер.



Выводы

Индекс селевой активности, равный десятичному логарифму суммарного объема селей, является объективным количественным показателем, который можно использовать для анализа внутрисезонной, межгодовой и пространственной изменчивости селевой активности.

Межгодовая изменчивость селевой активности в Иле Алатау выражена очень сильно. На этом фоне многолетние тренды проявляются очень слабо. Эти закономерности необходимо учитывать при проектировании селезащитных сооружений.

Для дальнейших исследований селевой активности необходимо унифицировать регистрацию селей и улучшить методы количественных измерений параметров селей.

Благодарности

Работы выполнены при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № BR21881982.

Список литературы

- Баймолдаев Т.А., Виноходов В.Н. «Казселезащита» – оперативные меры до и после стихии. – Алматы: Бастау, 2007. – 284 с.
- Бекенов К.А., Касенов М.К. Селевая безопасность, 50 лет деятельности Казселезащиты: итоги, эффективность, перспективы, 1973–2023 гг. – Алматы: Zialy baspfsy, 2023. – 208 с.
- Виноградов Ю.Б., Хонин Р.В., Земс А.Э. Селевой поток 15 июля 1973 г. на Малой Алматинке // Селевые потоки. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – № 1. – С. 60–73.
- Горбунов А.П., Северский Э.В. Сели окрестностей Алматы: Взгляд в прошлое. – Алматы: Наука, 2001. – 80 с.
- Дуйсенов Е. Д. Селевые потоки в Заилийском Алатау. – Алма-Ата: Казахстан, 1971. – 192 с.
- Женжурист Э.М. Алма-Атинская катастрофа 8-го июля 1921 г. // Вестн. ирригации. – 1923. – № 1. – С. 62–76.
- Керемкулов В.А., Цукерман И.Г. Обзор сведений о прорывах моренных озер Заилийского Алатау // Селевые потоки. – 1988. – № 10. – С. 62–77.
- Кюль Е. В., Гедуева М. М., Атаев З. В. Селевая активность в бассейне реки Самур (Восточный Кавказ) по результатам мониторинга 2020 года // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2021. Т. 15. № 1. С. 73–88. DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-1-73-88.
- Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Основы управления. – Алматы: Гылым, 2011. – 284 с.
- Медеу А.Р., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Антология селевых явлений и их исследования. – Алматы: Гылым, 2016. – 576 с.
- Медеуов А., Колотилин Н. Ф., Керемкулов В. А. Сели Казахстана. – Алматы: Гылым, 1993. – 160 с.
- Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау: Проблемы адаптации. – Алматы: Наука, 2007. – 158 с.
- Bolch T., Peters J., Blagovechshenskiy V., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan // Natural Hazards. – 2011. – Vol. 59, N. 3. – P. 1691–1714.
- Gartner H., Stoffel M. Detailed mapping and dendrogeomorphological analysis of a debris flow torrent in Switzerland // Proceedings of the International Symposium, INTERPRAEVENT. – Matsumoto: Interpraevent, 2002. – P. 199–207.
- Passmore D., Harrison S., Vanessa Winchester V., Rae A., Severskiy I., Pimankina N. Late Holocene Debris Flows and Valley Floor Development in The Northern Zailiiskiy Alatau, Tien Shan Mountains, Kazakhstan // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2008. – Vol. 40, N 3. – P. 548–560.
- VanDine D. F., Bovis M., History and goals of Canadian debris flow research, a review // Natural Hazards. – 2002. – N 26. – P. 69–82.
- Stoffel M., Lièvre I., Conus D., Grichting M.A., Raetzo H., Gärtner H.W., Monbaron M. 400 Years of Debris-Flow Activity and Triggering Weather Conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2005. – Vol. 37, N 3. – P. 387–395.