

конкретного предприятия, что будет способствовать более эффективному управлению экологической безопасности.

#### Список использованной литературы

1. ГОСТ 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями»

2. Ф. Я. Ровинский. Теория и методы изучения и охраны окружающей среды и природных ресурсов. Комплексный фоновый мониторинг загрязнения окружающей среды. ВНИТИ. – М.: 1989. С. 205 – 221.

3. Методы расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. Утверждены Приказом Минприроды России № 273 от 06.06.2017.

4. Методическом пособии по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера», 2012.

5. Временные рекомендации. Фоновые концентрации вредных (загрязняющих) веществ для городских и сельских поселений, где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на период 2019-2023 гг. Утвержденные Росгидрометом 15 августа 2018 года.

---

### НОВЕЙШИЙ РЕЛЬЕФОГЕНЕЗ КРИОЛИТОЗОНЫ БОЛЬШОГО АЛТАЯ

---

*Литвинов Алексей Сергеевич*

*ИМКЭС СО РАН, м.н.с., г. Томск*

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.64.250](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.6.64.250)

#### АННОТАЦИЯ

Проблема изучения и прогнозирования криогенных рельефообразующих процессов приобрела в настоящее время первостепенное значение, что связано с резким обострением экологической обстановки в целом ряде горных регионов, происходящим на общем фоне климатических изменений.

В рамках исследования проведен анализ инструментальных метеорологических наблюдений, а так же анализ геотермических данных полученных с собственных термоскважин ИМКЭС СО РАН. Исследования динамики термокарстовых процессов на тестовых участках проведены с использованием материалов полихронной космосъемки и наземных наблюдений.

Полученные результаты подтверждают климатогенный характер интенсификации криогенных рельефообразующих процессов в пределах высокогорий Алтая.

#### ABSTRACT

The study and prediction of cryogenic relief-forming processes has now become of paramount importance, due to the sharp deterioration of the environmental situation in a number of mountain regions, taking place against the general background of climate change.

The analysis of instrumental meteorological observations and the analysis of geothermal data obtained from the IMCES SB RAS thermal boreholes were carried out within the framework of the study. Studies of the dynamics of thermokarst processes were carried out using the materials of polychronous space survey and ground observations at the test sites.

The obtained results confirm the climatogenic character of the intensification of cryogenic relief-forming processes within the Altai highlands.

**Ключевые слова:** криогенез, вечная мерзлота, термокарст

**Keywords:** cryogenesis, permafrost, thermokarst

Большинство криогенных экзодинамических процессов (термокарст, криогенный крип, селеобразование) относится к категории зональных, распространение которых в первую

очередь контролируется климатическими факторами. Чрезвычайно важное значение, при этом, имеет криолитологическая обстановка.

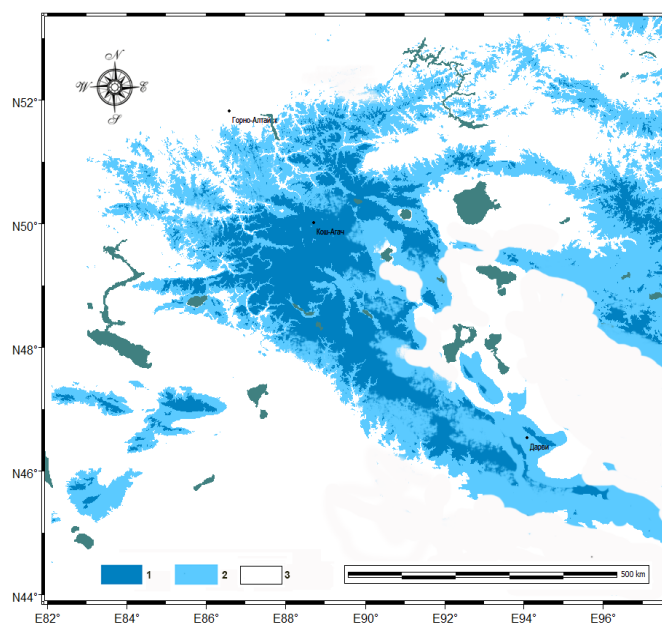


Рисунок 1. Распространение многолетнемерзлых пород (ММП) в пределах Большого Алтая. 1 – пояс сплошного залегания ММП; 2 – пояс прерывистого и островного залегания ММП; 3 – районы сезонного промерзания грунта.

Многолетнемерзлые породы распространены на территории Большого Алтая (Русского и Монгольского) достаточно широко и неравномерно (Рисунок 1). Мощность криолитозоны, в целом, коррелируется с длительностью промерзания пород и связывается с приуроченностью местности к тому или иному высотному геокриологическому поясу. В поясе островного распространения многолетнемерзлых пород их мощность варьирует от 6 до 90 м, прерывистого распространения – 50 - 160 м, сплошного распространения - 80 - 600 м. Мощность многолетнемерзлых пород во впадинах

значительно меньше, нежели в коренных породах их горного обрамления.

Анализ инструментальных метеорологических наблюдения по ряду пунктов показывает, что с середины XX столетия отмечается достаточно устойчивая тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха. Изменения климата, по данным наблюдений на геокриологических стационарах (Таблица 1) сопровождается отчетливо выраженным повышением среднегодовой температуры грунта, оттаиванием многолетнемерзлых толщ и активизацией криогенных геоморфологических процессов.

Таблица 1.

**ТРЕНДЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ММП В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ МИРА**

	Район наблюдений, глубина, период	Температурный тренд	Источник
США	Транс-Аляскинский трубопровод (20 м) 1983-2003	+0.6 to +1.5°C	Osterkamp 2003
	Мерзлотная обсерватория Барроу (15 м), 1950-2003	+1°C	Brewer 1958; Romanovsky et al., 2002
Россия	Восточная Сибирь (1.6-3.2 м), 1960-1992	+0.03°C/год	Romanovsky et al., 2001
	Север Западной Сибири (10 м), 1980-1990	С +0.3 до +0.7°C	Pavlov, 1994
	Север Европейской России, (6 м), 1970-1995	до +1.2°C	Oberman and Mazhitova, 2001
Канада	Север бассейна Маккензи (28 м), 1990-2000	+0.1°C/год	Geological Survey of Canada data: Couture et al. (2003)
	Мерзлотная станция Алерт, Нунавут (15 м), 1995-2000	+0.15°C/год	Smith et al., 2003
	Центральная часть бассейна Маккензи (15 м), 1985-2000	+0.03°C/год	Geological Survey of Canada data: Couture et al. (2003)
	Север Квебека (10 м), вторая половина 1980-х - середина 1990-х	+0.1°C/год	Allard et al., 1995
Норвегия	Ювасхöz, Юг Норвегии	С +0.5 до +1.0°C	Isaksen et al., 2001
	Янсонхауген, Шпицберген	С +1° до +2°C	Isaksen et al., 2000

Китай	Кингай, Тибетское плато, (1970-е-90-е)	От +0.1 до +0.3°C	Huijin et al., 2000
Казахстан	Северный Тянь-Шань (1973-2003)	С +0.2° до +0.6°C	Marchenko, 1999 , 2002
Монголия	Горы Хангая, Хэнтея, Побережье Хубсугула (1973-2003)	С +0.3° до +0.6°C	Sharkhuu, 2003

Анализ геотермических данных за период 2009-2018 гг. показал устойчивое потепление (на 0.3 – 0.4°C) и увеличение мощности (на 20-25%) деятельного слоя многолетнемерзлых пород Юго-восточного Алтая. Мониторинг термоскважин

ИМКЭС СО РАН продемонстрировал повышение температур многолетнемерзлой толщи на глубине 3.5 - 4 м на 0.8 – 0.9 °C за период 2009–2018 гг. и устойчивое увеличение мощности слоя сезонного оттаивания.



Рисунок 2. Остатки залива озера Эхэн-Нур по состоянию на сентябрь 2017 года. До 1962 года озеро занимало всю площадь ныне сухой озёрной котловины. (Фото А. Литвинов, 2017)

В высокогорных районах Алтая, в трансформации ландшафтов, важную роль играют процессы протаивания вечномерзлых грунтов и подземных льдов с дневной поверхности. В связи с этим, особый акцент в исследованиях был сделан на оценку скорости развития термокарста в современных условиях.

Исследования динамики термокарстовых процессов на тестовых участках проведены с использованием материалов полихронной космосъемки и наземных наблюдений.

Аналитическая обработка данных дистанционного зондирования за период с 1962 по 2018 гг., выполненная в среде ГИС-пакета MICRODEM/TerraBase V16.0, показала повсеместное и устойчивое увеличение площадей озер термокарстового генезиса: за полувековой промежуток времени суммарная акватория озер Верхнечуйского термокарстового участка увеличилась на 42%, Цаган-Нурского – на 35%, Хух-Гольского на 35%. (Рисунок 3).

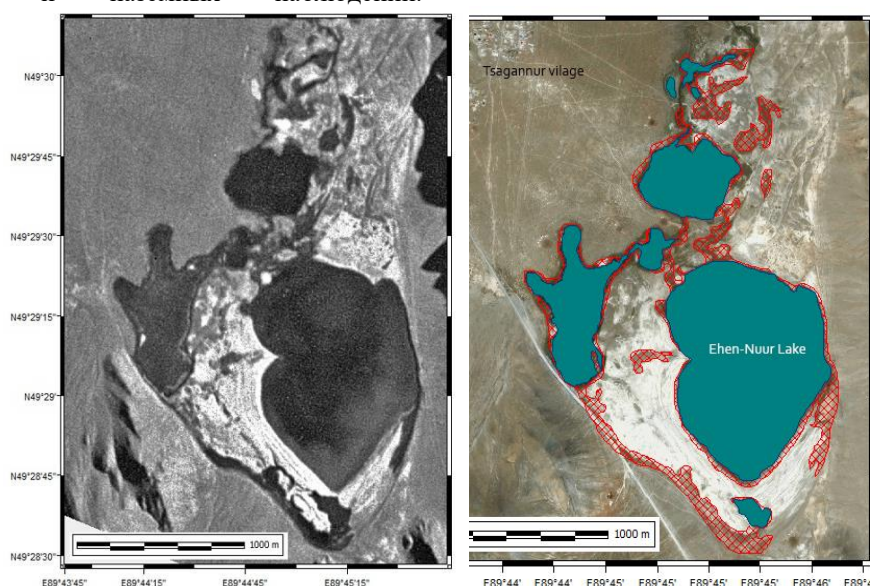


Рисунок 3. Сравнительный ГИС- анализ термокарстового озера Эхэн-Нур (Цаган-Нурский термокарстовый участок). Левый снимок (КН-4В, 1962-08-22) показывает состояние термокарстовых озёр в 1962 году. Красная заливка на правом снимке (WorldView – 110, 2015-08-19) показывает контуры озёр по состоянию на 1962 год, зелёно-голубая заливка, по состоянию на 2016.

Большой Алтай является слабо изученным районом в отношении селевой деятельности, так как имеющиеся отдельные сведения о селепро явлениях, констатирующие факт прохождения селей не дают полной картины о селевых бассейнах и очагах этого района. Полученные нами материалы по Русскому Алтаю, дополненные литературными данными [1], позволили значительно расширить представление о селевых явлениях этой горной территории. Из геоинформационного анализа материалов дистанционного зондирования на рассматриваемую территорию следует, что общая площадь селевых бассейнов составляет около 35%, (из них нейтральная площадь - 15% и площадь водосбора селевых очагов 20%). На территории

исследований выявлено и закартировано 270 различных по площади селевых бассейнов. В зависимости от величины и морфологии они подразделены согласно классификации на русловые, логовые и склоновые. Русловые сели образуются в селевых очагах, проходят транзитную зону (русло) и выносят рыхлообломочный материал (селевую массу) на более низкие отметки с пологими продольными уклонами в виде селевых конусов и полей. Склоновые сели (Рисунок 4) образуются в очагах, имеющих слабо выраженный (или вовсе не выраженный) водосбор. Это типичные селевые рывины начальной степени развития. Здесь транзитная зона (селевое русло) отсутствует.



Рисунок 4. Селевые бассейны склонового типа развивающиеся на восточных склонах массива Джаргалант-Ула (Фото А. Литвинов, 2017)

Сели проходящие по логам (логовые), являются переходным видом между склоновыми и русловыми. Данный вид селей образуется в очагах имеющих хорошо выраженный микроселевой бассейн с четкими границами площади водосбора. В нижней части лога различной протяженности, в

районе тальвега, хотя и имеются запасы рыхлообломочного материала, но этот участок значительно выположен, поэтому питание селя здесь незначительное. На выходе из лога, как правило, образуется селевой конус (Рисунок 5).



Рисунок 5. Конус выноса логового селя, перекрывший проезжую часть автодороги Ташанта - Цаган-Нур (Фото А. Литвинов, 2017)

Очагами логовых селей являются селевые рывины и небольшие селевые врезы, находящиеся в нижних частях логов. Площадь водосбора

большинства селевых рывин находится в пределах 0,1 – 4 кв.км. Площади скальных очагов и очагов рассредоточенного селеформирования также не



превышает этих величин. Большинство селевых рытвин имеет длину до 2 км, продольный уклон от 5-10 до 35-40°; у селевых врезов он достигает 20-25°. Уклон скальных очагов находится в пределах от 25-30 до 45-50°. До 50% селевых очагов располагается на южной, юго-западной и юго-восточной экспозициях склонов, и около 14% приурочено к северо-восточной и северо-западной экспозициям. Подавляющее большинство селевых очагов приурочено к высотам от 2000 до 3000 м, с максимумом в высотной зоне 2500 – 2700 м.

Полученные результаты подтверждают климатогенный характер интенсификации криогенных рельефообразующих процессов в пределах высокогорий Алтая и являются востребованными мировым сообществом геоморфологов, публикующих свои сходные результаты по другим горным странам и регионам в рамках проектов по изучению природных опасностей (Glaciorisk, GLOF, GLOCOPH).

Исследования выполнены в рамках проекта APN CRRP2017-05MY-Demberel «Climatogenic Transformation of the Alpine Landscapes in Mongolian and Russian Altai».

#### Литература:

- 1.Виноградов В.А. Сели Чуйских белков. Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета, 1981, вып.51, с. 87 – 92
- 2.Розенберг Л.И. Геокриологические условия Алтая. В кн: Геокриология СССР. Горные страны Юга СССР. Москва, Недра, 1989, с. 226-246
- 3.Allard, M., B. Wang and J.A. Pilon, 1995. Recent cooling along the southern shore of Hudson Strait, Quebec, Canada, documented from permafrost temperature measurements. *Arctic and Alpine Research*, 27:157-166.
- 4.Couture, R., S. Smith, S.D. Robinson, M.M. Burgess and S. Solomon, 2003. On the hazards to infrastructure in the Canadian North associated with thawing of permafrost. *Proceedings of Geohazards 2003, Third Canadian Conference on Geotechnique and Natural Hazards*, pp. 97-104. Canadian Geotechnical Society.
- 5.Isaksen, K., P. Holmlund, J.L. Sollid and C. Harris, 2001. Three deep alpine-permafrost boreholes in Svalbard and Scandinavia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12:13-25.
- 6.Marchenko, S.S., Results of monitoring of the active layer in the northern Tien Shan mountains, *Earth Cryosphere*, v. VI, 3, 25-34, 2002
- 7.Oberman, N.G. and G.G. Mazhitova, Permafrost dynamics in the north-east of European Russia at the end of the 20th century. *Norwegian Journal of Geography*, 55, 241-244, 2001.
- 8.Osterkamp, T.E., 2003. A thermal history of permafrost in Alaska. *Proceedings of Eighth International Conference on Permafrost*, Zurich, pp. 863-868.
- 9.Osterkamp, T.E., and V.E. Romanovsky, Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska, *Permafrost and Periglacial Processes*, 10(1), 17-37, 1999.
- 10.Pavlov, A.V., Current changes of climate and permafrost in the Arctic and Sub-Arctic of Russia, *Permafrost and Periglacial Processes*, 5, 101-110, 1994.
- 11.Romanovsky, V.E., and T.E. Osterkamp, Permafrost: Changes and Impacts, in: R. Paepe and V. Melnikov (eds.), "Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources", Kluwer Academic Publishers, 297-315, 2001.
- 12.Romanovsky, V. E., Shender, N. I., Sazonova, T. S., Balobaev, V. T., Tipenko, G. S. and Rusakov, V. G., Permafrost Temperatures in Alaska and East Siberia: Past, Present and Future, in: *Proceedings of the Second Russian Conference on Geocryology (Permafrost Science)*, Moscow, June 6-8, pp. 301-314, 2001.
- 13.Romanovsky, V., M. Burgess, S. Smith, K. Yoshikawa, and J. Brown, Permafrost Temperature Records: Indicators of Climate Change, *EOS, AGU Transactions*, Vol. 83, No. 50, 589-594, December 10, 2002.
- 14.Sharkhuu, N., Recent changes in the permafrost of Mongolia. In: *Proceedings of the VII International Permafrost Conference*, Switzerland, July 21-25, pp. 1029-1034, 2003.
- 15.Smith, S.L., M.M. Burgess and A.E. Taylor, 2003. High Arctic permafrost observatory at Alert, Nunavut - analysis of a 23-year data set. *Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost*, 1073-1078.